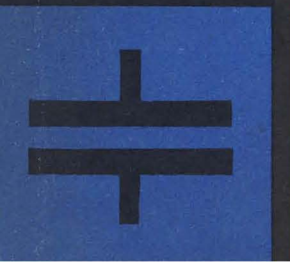


DER JUNGE FUNKER

Egon Klaffke

Experimentelle Elektro- und Funktechnik mit Transistoren und Schaltkreisen

Teil 1





26

Der junge Funker · Band 26

Egon Klaffke

Experimentelle Elektro- und Funktechnik mit Transistoren und Schaltkreisen



Militärverlag
der Deutschen Demokratischen
Republik

1. Auflage, 1980, 1.–15. Tausend

Cheflektorat Militärliteratur
Lizenz-Nr. 5 · LSV: 3539
Lektor: Rainer Erlekampf
Zeichnungen: Monika Grapentin
Typografie: Günter Molinski
Hersteller: Michael Haase
Vorauskorrektor: Gertraut Purfürst
Korrektor: Ilse Fähndrich
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb
Leipzig – III/18/97
Redaktionsschluß: 20. Oktober 1979
Bestellnummer: 746 166 4
DDR 1,90 M

Inhaltsverzeichnis

Teil 2

Vorwort

Diese Broschüre soll dem Anfänger helfen, den Anschluß an die Amateur- und Fachliteratur zu finden. Darum sind viele Beispiele, Berechnungen und Experimente auf Textstellen aus der Fachliteratur zurückgeführt worden. So hat der Leser die Möglichkeit zu vergleichen und sich schrittweise in die ihn interessierenden Gebiete einzuarbeiten.
Von diesem Gesichtspunkt aus mußte für Inhalt und Darlegung der einzelnen Abschnitte ein Kompromiß gefunden werden. Er besteht in folgendem: Die Arbeit ist kein lückenloses Lehrbuch über die Elektro- und Funktechnik. Diese Bücher stehen in großer Zahl zur Verfügung. Der Leser findet ausgewählte Abschnitte, die den Elektronikbastler und zukünftigen Funkamateur in erster Linie interessieren. Sie sind auf Grund jahrelanger Erfahrungen aus der Arbeit mit Anfängergruppen und Arbeitsgemeinschaften ausgewählt worden. Der Inhalt ist so aufgebaut, daß diese Broschüre als Material in den Arbeitsgemeinschaften der allgemeinbildenden polytechnischen Oberschulen und den Ausbildungsgruppen im Nachrichtensport der *Gesellschaft für Sport und Technik* verwendet werden kann. Fortgeschrittene Amateure finden einige Zusammenfassungen, die schnell zur Hand sind und vielleicht auch ihre Arbeit ein wenig erleichtern.
Das Heft ist auch kein Experimentier- oder Anleitungsbuch, wie man es aus Baukastensystemen kennt. Die Beispiele und Experimente sollen immer die prinzipiellen Zusammenhänge aufzeigen. Es wird eine schöpferische Mitarbeit auf der Grundlage der Beispiele und Experimente verlangt. Die Beispiele und Experimente sind so angelegt, daß beim Fehlen der genannten Bauelemente mit angenäherten Größenordnungen gearbeitet werden kann. Dazu muß aber der Leser die erforderlichen Berechnungen in Anlehnung an die Beispiele selbst noch einmal mit den von ihm gewählten Bauelementen durchrechnen. Es wurde in allen Fällen auf erprobte Schaltungen zurückgegriffen. Die Schaltungsbeispiele sind so konzipiert, daß sie sich fast immer zu einem kleinen Gerät zusammenbauen lassen.
Die Broschüre setzt die Kenntnis des Stoffes der zehnklassigen allgemeinbildenden polytechnischen Oberschule voraus. So wird in

den einzelnen Abschnitten nicht immer »ganz vorne« angefangen. Theoretische Erklärungen sind nur in unbedingt erforderlichem Umfange eingefügt. Technologische Hinweise findet man nicht, da sonst der Rahmen dieser Broschüre völlig gesprengt worden wäre.
Alle Abschnitte bauen zwar aufeinander auf, sind aber in sich geschlossen. Trotz der Stoffülle hat der Autor versucht, das für den Anfänger Notwendige an Theorie und Praxis von der Elektro- und Funktechnik, vom Transistor und Schaltkreis in Beispielen, Überlegungen und Experimenten so darzustellen, daß der Leser zum eigenen Konstruieren und Bauen angeregt wird und mit dieser Broschüre über erste Unterlagen dazu verfügt.
Wissenschaft und Technik entwickeln sich sehr schnell. Der Griff zur Fachliteratur wird auch für den ernsthaften Bastler und Amateur immer notwendiger. Auch dabei soll diese Broschüre helfen.

Greifswald, im März 1979 *Egon Klaffke*

1. Mathematische Grundlagen

1.1. Mathematische Gleichungen

1.1.1. Rechengesetze

Der sichere Umgang mit mathematischen Gleichungen sowie ihre Auflösung nach gesuchten Größen und Variablen sind wichtige Voraussetzungen, um Berechnungen durchführen zu können. Die

Tabelle 1.1. Rechengesetze für Gleichungen

Gleichung	Lösung
$x + a = b$	$x = b - a$
$x - a = b$	$x = a + b$
$ax = b$	$x = \frac{b}{a}$
$\frac{x}{a} = b$	$x = ab$
$x^n = b$	$x = \sqrt[n]{b}$
$\sqrt[n]{x} = b$	$x = b^n$

Tabelle 1.1. verdeutlicht noch einmal die beiden Hauptsätze der Gleichungslehre:
- Eine Gleichung besteht aus 2 Termen, die durch ein Gleichheitszeichen miteinander verbunden sind.
- Eine Gleichung bleibt richtig, wenn alle Glieder ihrer Terme mit der gleichen mathematischen Operation behandelt werden.

1.1.2. Lösungen linearer Gleichungen

Im Rahmen dieser Darlegungen ist die Kenntnis von Lösungen linearer Gleichungen erforderlich. Die Lösungen der wichtigsten linearen Gleichungen sind in Tabelle 1.2. zusammengestellt.

Tabelle 1.2. Lösungen linearer Gleichungen

Gleichung	Form	Bedingung	Lösung
1 Gleichung mit 1 Variablen	$ax + b = 0$	a, b konstant $a \neq 0$	$x = -\frac{b}{a}$
1 Gleichung mit 2 Variablen	$ax + by = c$	a, b, c konstant $b \neq 0$	$y = -\frac{a}{b}x + \frac{c}{b}$ in diese Gleichung sind für x beliebige Werte einzusetzen und die entsprechenden Werte für y zu berechnen. Jedes Paar [x, y] ist dann die Lösung der Gleichung
2 Gleichungen mit 2 Variablen	I $a_1x + b_1y = c_1$ II $a_2x + b_2y = c_2$	$a_1, b_1, c_1, a_2, b_2 c_2$ konstant $a_1b_2 - a_2b_1 \neq 0$	$x = \frac{c_1b_2 - c_2b_1}{a_1b_2 - a_2b_1}$ $y = \frac{a_1c_2 - a_2c_1}{a_1b_2 - a_2b_1}$

1.1.3. Determinanten

Betrachtet man die Lösungen der 2 Gleichungen mit 2 Variablen, so fällt auf, daß bei x und y der gleiche Nenner steht. In der Fachliteratur und der »Amateurbibliothek« [3] wird statt dieser in den polytechnischen Oberschulen verwendeten Form [4] häufiger die *Cramersche* Regel angewandt.

Bei der *Cramerschen* Regel wird zur Lösung eines Gleichungssystems mit 2 Gleichungen und 2 Variablen die Koeffizientendeterminante benutzt.

Aus dem Gleichungssystem

$$\begin{array}{ll} \text{I} & a_1x + b_1x = c_1 \\ \text{II} & a_2x + b_2x = c_2 \end{array} \tag{1.1}$$

wird die Koeffizientenanordnung

$$A = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{pmatrix} \tag{1.2}$$

herausgelöst. Eine solche Anordnung heißt Matrix. Sie besteht hier

aus 2 waagerechten Zeilen und 2 senkrechten Spalten. Man bezeichnet sie auch als quadratische 2reihige Matrix. Eine Matrix kann aus beliebig vielen Zeilen und Spalten bestehen. Sie hat keinen Zahlenwert.
Der quadratischen 2reihigen Matrix (1.2) wird die Determinante

$$D = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} \tag{1.3}$$

zugeordnet. Die Determinante D hat einen Zahlenwert, der sich aus der Differenz der Produkte aus Haupt- und Nebendiagonale ergibt. Die Hauptdiagonale verläuft von links oben nach rechts unten. Das Produkt der Hauptdiagonale lautet a_1b_2. Die Nebendiagonale verläuft von rechts oben nach links unten. Das Produkt der Nebendiagonale lautet b_1a_2. In mathematischer Schreibweise erhält man a_2b_1. Damit ist der Wert der Determinante gefunden:

$$D = a_1b_2 - a_2b_1 . \tag{1.4}$$

Er ist der Nenner von x und y aus Tabelle 1.2.

1.1.3.1. Cramersche Regel

Die *Cramersche* Regel benutzt weitere Determinanten. Es gilt für x:

$$x = \frac{\begin{vmatrix} c_1 & b_1 \\ c_2 & b_2 \end{vmatrix}}{D} . \tag{1.5}$$

Die Zählerdeterminante, mit der sich x ermitteln läßt, wird allgemein mit D_x bezeichnet. Man erhält D_x, indem in der Koeffizientendeterminante Gleichung (1.3) die 1. Spalte, die die Koeffizienten von x enthält, durch die Spalte mit den Konstanten ersetzt wird. Dann ist

$$D_x = \begin{vmatrix} c_1 & b_1 \\ c_2 & b_2 \end{vmatrix} \tag{1.6}$$

und

$$x = \frac{D_x}{D} . \tag{1.7}$$

Analog ergibt sich y aus

$$y = \frac{D_y}{D} \tag{1.8}$$

mit

$$D_y = \begin{vmatrix} a_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 \end{vmatrix} \qquad (1.9)$$

D_y bildet man nach der gleichen Methode wie D_x. Die Koeffizientenspalte von y wird durch die Spalte mit den Konstanten ersetzt. Es werden also 2 weitere Determinanten aus Gleichung (1.1) mit den Koeffizienten und Konstanten gebildet. Mit Gleichung (1.4) läßt sich ihr Wert bestimmen.
Durch die *Cramersche* Regel braucht man die Verfahren des Einsetzens, Gleichsetzens sowie des Addierens bzw. des Subtrahierens nicht anzuwenden. Aus den Koeffizienten und Konstanten erhält man sofort verhältnismäßig einfache und überschaubare Gleichungen.

Beispiel

$$3x + 6y = 51$$

$$4x - 7y = -22$$

$$D = \begin{vmatrix} 3 & 6 \\ 4 & -7 \end{vmatrix}$$

$$D = -21 - 24$$

$$D = -45$$

$$D_x = \begin{vmatrix} 51 & 6 \\ -22 & -7 \end{vmatrix}$$

$$D_x = -357 - (-132)$$

$$D_x = -225$$

$$x = \frac{D_x}{D}$$

$$x = \frac{-225}{-45}$$

$$x = 5$$

$$y = \frac{D_y}{D}$$

$$y = \frac{\begin{vmatrix} 3 & 51 \\ 4 & -22 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 3 & 6 \\ 4 & -7 \end{vmatrix}}$$

$$y = \frac{-270}{-45}$$

$$y = 6$$

Man überzeuge sich durch Einsetzen der Werte für die Variablen in die Ausgangsgleichungen von der Richtigkeit der Lösungen. Es ergibt sich somit eine einfache Lösungsvariante für die Berechnung eines Gleichungssystems mit 2 Gleichungen und 2 Variablen (Bild 1.1). Als Lösungsvariante wird die für den vorliegenden Fall günstigste Variante angeboten. Natürlich kann man oft auch anders vorgehen. Proben und Betrachtungen über die Lösungen sind grundsätzlich immer anzustellen. Sie sind in die Lösungsvarianten nicht extra aufgenommen.

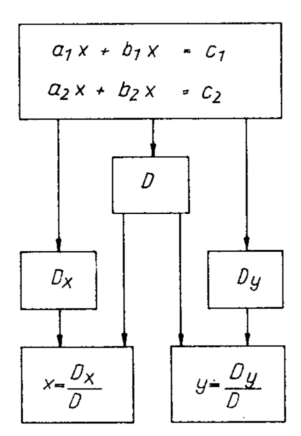


Bild 1.1
Lösungsvariante für 2 Gleichungen mit Variablen durch Anwendung von Determinanten

1.1.3.2. Regel von Sarrus

In der Funk- und Elektrotechnik treten häufig Gleichungssysteme mit mehreren Variablen auf. Mit Hilfe von Determinanten können diese Gleichungen leicht berechnet werden.

$$D = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} \qquad (1.10)$$

ist die 3reihige Koeffizientendeterminante zu dem Gleichungssystem

$$\left.\begin{aligned} a_1x + b_1y + c_1z &= d_1 \\ a_2x + b_2y + c_2z &= d_2 \\ a_3x + b_3y + c_3z &= d_3 \end{aligned}\right| . \qquad (1.11)$$

Analog zu Gleichung (1.6) und Gleichung (1.9) ergibt sich für

$$D_x = \begin{vmatrix} d_1 & b_1 & c_1 \\ d_2 & b_2 & c_2 \\ d_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} \qquad (1.12)$$

$$D_y = \begin{vmatrix} a_1 & d_1 & c_1 \\ a_2 & d_2 & c_2 \\ a_3 & d_3 & c_3 \end{vmatrix} \qquad (1.13)$$

$$D_z = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & d_3 \end{vmatrix} \qquad (1.14)$$

und entsprechend Gleichung (1.7) und Gleichung (1.8) für

$$x = \frac{D_x}{D} \qquad (1.15)$$

$$y = \frac{D_y}{D} \qquad (1.16)$$

$$z = \frac{D_z}{D} . \qquad (1.17)$$

Die Regel von *Sarrus* erlaubt eine einfache Berechnung 3reihiger Determinanten. Die 1. und 2. Spalte werden noch einmal hinter die Determinante geschrieben. Dann berechnet und addiert man die 3 Hauptdiagonalen. Von dem Ergebnis wird die Summe der 3 berechneten Nebendiagonalen subtrahiert.

Hauptdiagonalen, Nebendiagonalen

$$D = \left|\begin{matrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{matrix}\right|\begin{matrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 \end{matrix} \qquad (1.18)$$

$$D = a_1b_2c_3 + b_1c_2a_3 + c_1a_2b_3 - (c_1b_2a_3 + a_1c_2b_3 + b_1a_2c_3) \qquad (1.19)$$

Beispiel

$$\left.\begin{aligned} 2x+3y+\ z &= 11 \\ x-2y+3z &= 6 \\ 3x+\ y-2z &= -1 \end{aligned}\right|$$

$$D = \begin{vmatrix} 2 & 3 & 1 \\ 1 & -2 & 3 \\ 3 & 1 & -2 \end{vmatrix}$$

$$D = \begin{vmatrix} 2 & 3 & 1 \\ 1 & -2 & 3 \\ 3 & 1 & -2 \end{vmatrix} \begin{matrix} 2 & 3 \\ 1 & -2 \\ 3 & 1 \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} D = {} & 2 \cdot (-2) \cdot (-2) + 3 \cdot 3 \cdot 3 + 1 \cdot 1 \cdot 1 \\ & - [1 \cdot (-2) \cdot 3 + 2 \cdot 3 \cdot 1 + 3 \cdot 1 \cdot (-2)] \end{aligned}$$

$$D = 8 + 27 + 1 - (-6 + 6 - 6)$$
$$D = 42$$

$$D_x = \begin{vmatrix} 11 & 3 & 1 \\ 6 & -2 & 3 \\ -1 & 1 & -2 \end{vmatrix} \begin{matrix} 11 & 3 \\ 6 & -2 \\ -1 & 1 \end{matrix}$$

$$D_x = 42$$

$$D_y = \begin{vmatrix} 2 & 11 & 1 \\ 1 & 6 & 3 \\ 3 & -1 & -2 \end{vmatrix} \begin{matrix} 2 & 11 \\ 1 & 6 \\ 3 & -1 \end{matrix}$$

$$D_y = 84$$

$$D_z = \begin{vmatrix} 2 & 3 & 11 \\ 1 & -2 & 6 \\ 3 & 1 & -1 \end{vmatrix} \begin{matrix} 2 & 3 \\ 1 & -2 \\ 3 & 1 \end{matrix}$$

$$D_z = 126$$

$$x = \frac{D_x}{D} \qquad y = \frac{D_y}{D} \qquad z = \frac{D_z}{D}$$

$$x = \frac{42}{42} \qquad y = \frac{84}{42} \qquad z = \frac{126}{42}$$

$$x = 1 \qquad y = 2 \qquad z = 3.$$

Beim Aufstellen der Determinante muß man beachten, daß eine Variable mit dem Faktor 1, der in der Gleichung nicht geschrieben ist, in der Determinante als 1 eingesetzt wird. Sollten in einer Gleichung des Gleichungssystems mit 3 Gleichungen nur 2 Variable auftreten, so ist für die fehlende Variable in der Determinante 0 zu setzen. Die Vorzeichen der Faktoren müssen mit in die Determinante übernommen werden. Die Regel von *Sarrus* gilt nur für 3reihige Determinanten. Für Gleichungssysteme mit mehr als 3 Gleichungen und 3 Variablen entstehen mehrreihige Determinanten. Sie lassen sich mit entsprechenden Gesetzen vereinfachen und lösen. Dazu schlage man in Lehrbüchern oder Wissensspeichern nach [5].

1.1.4. Umstellen von Gleichungen

Beim Umstellen einer Gleichung bzw. beim Auflösen nach einer Variablen ist zu beachten, daß der Zahlenwert einer Gleichung nur dann erhalten bleibt, wenn mit der gewählten Operation jedes Glied jedes Terms der Gleichung behandelt wird. Am Beispiel der *Thomsonschen* Schwingungsgleichung soll das verdeutlicht werden:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \tag{1.20}$$

Die Frequenz f ist beim Bau eines Detektors oder eines Empfängers meist die Frequenz des Ortssenders und somit bekannt. Auch der Drehkondensator ist oft vorhanden und damit C bekannt. Die Spule fehlt. Sie muß berechnet werden. Dazu ist das Umstellen oder Auflösen der Gleichung nach L erforderlich. Dem Ungeübten wird empfohlen, sich die Operationen hinter einem senkrechten Strich neben jeder Gleichung aufzuschreiben. Das erleichtert das Suchen etwa aufgetretener Fehler. Nach einiger Übung kommt man ohne diese Hilfsmaßnahme aus.

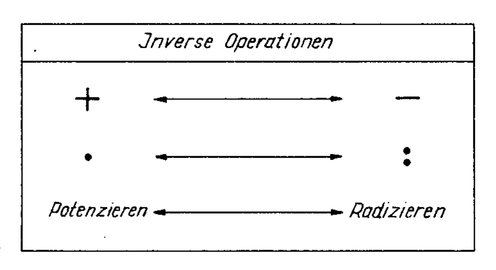


Bild 1.2
Inverse mathematische Operationen

Beispiel

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \Big| \text{ quadrieren}$$

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC} \quad \Big| \cdot L$$

$$Lf^2 = \frac{1}{4\pi^2 C} \quad \Big| : f^2$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}.$$

Selbstverständlich kann auch eine andere Reihenfolge der einzelnen Schritte gewählt werden. Es kommt darauf an, die interessierende Variable bei Einhaltung aller Rechengesetze allein als Term auf der linken Seite der Gleichung zu haben. Wie das Beispiel zeigt, erreicht man das, indem immer die entgegengesetzte Rechenoperation, auch inverse Operation genannt, angewendet wird. Bild 1.2 zeigt 3 wichtige inverse Operationen.

1.2. Grafische Darstellungen

In grafischen Darstellungen wird die Abhängigkeit physikalischer Größen anschaulich wiedergegeben. Dazu werden die voneinander abhängigen Größen auf den Achsen eines Koordinatensystems dargestellt. Eine Kurve in diesem Koordinatensystem verdeutlicht dann den Zusammenhang. Grafische Darstellungen werden in der Technik auch als Diagramme bezeichnet.

1.2.1. Qualitative Darstellungen

Interessiert der qualitative Zusammenhang zwischen 2 Größen, so werden die Koordinatenachsen nur mit den Symbolen für die Größen versehen. Bild 1.3 zeigt ein Diagramm, aus dem sich die Abhängigkeit der Kapazität eines Drehkondensators mit logarithmischem Plattenschnitt vom Drehwinkel qualitativ ablesen läßt.

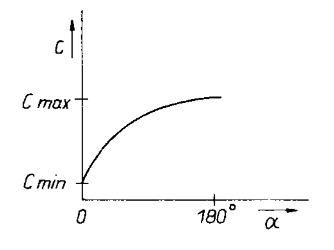


Bild 1.3
Qualitative Darstellung der Abhängigkeit der Kapazität eines Drehkondensators mit logarithmischem Plattenquerschnitt vom Drehwinkel

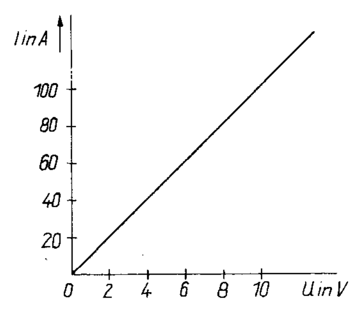


Bild 1.4
Quantitative Darstellung der Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei einem Widerstand von 100 Ω im Bereich 0 V bis 10 V

1.2.2. Quantitative Darstellungen

Zur Darstellung quantitativer Zusammenhänge werden die Koordinatenachsen mit Zahlenwerten, Größe und Einheit versehen. In Bild 1.4 ist der quantitative Zusammenhang von Stromstärke und Spannung bei einem Widerstand von 100 Ω dargestellt.

1.2.3. Nomogramme

Mit Nomogrammen lassen sich fehlende Werte ermitteln. Ein Nomogramm ist eine grafische Darstellung einer vorliegenden Gesetzmäßigkeit oder Formel. Aus dem Nomogramm kann zu beliebigen Ausgangswerten eines bestimmten Bereichs das zugehörige Ergebnis abgelesen werden. Dazu ist es erforderlich, die Ablesevorschrift eindeutig anzugeben. Bild 1.5 zeigt ein Nomogramm zur Ermittlung von Schwingkreiswerten, wenn 2 Ausgangswerte bekannt sind. Das Nomogramm enthält z. B. die für den Amateurfunkdienst interessierenden Kurzwellenbänder. Die Werte für die von Rundfunk-

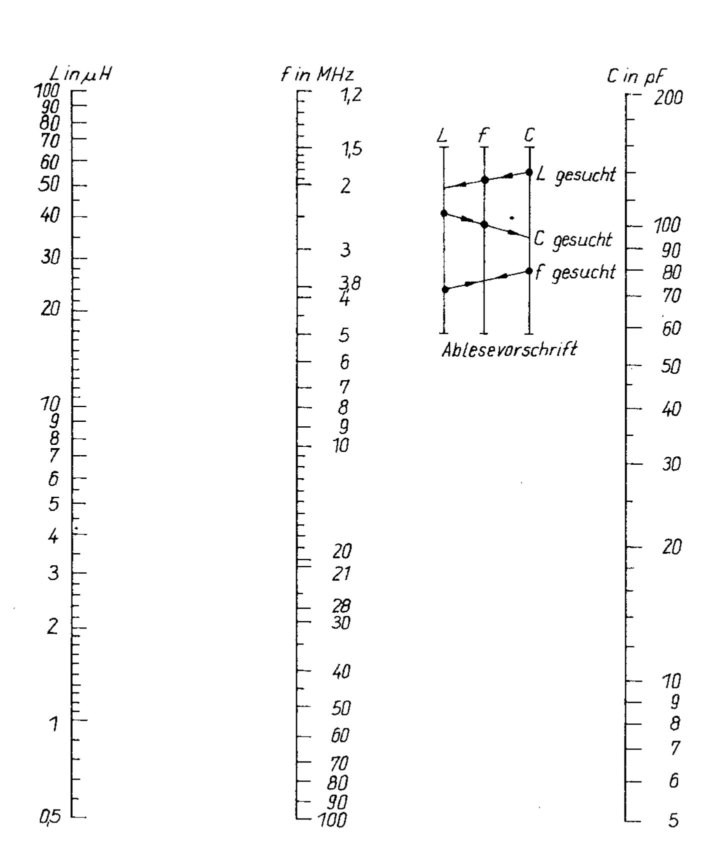


Bild 1.5 Schwingkreise für den Kurzwellenbereich von 1,2 MHz bis 100 MHz

empfängern bekannten Kurzwellenbänder lassen sich ebenfalls mit diesem Nomogramm ermitteln. Die Ablesevorschrift zeigt, wie man vorgehen muß. In der Ablesevorschrift sind die Ausgangswerte durch Punkte verdeutlicht. Diese Ableserichtung wird durch einen Pfeil angegeben. Das Ergebnis ist im Schnittpunkt der Ablesegeraden mit der jeweils freien »Leiter« zu finden.

Beispiel

Es steht ein Drehkondensator mit einer Endkapazität von C_e = 100 pF zur Verfügung. Um das 80-m-Band sicher zu erfassen,

wird die Frequenz mit $f_{min} = 3\,MHz$ angesetzt. Welche Induktivität L muß die Spule haben?
Lineal bei $C = 100\,pF$ und $f = 3\,MHz$ anlegen. Auf »Leiter« L kann man den Wert 28 µH ablesen. Es wird also eine Spule mit der Induktivität $L = 28\,\mu H$ benötigt.
Legt man das Lineal nun im Punkt 28 µH an und dreht langsam über den interessierenden Frequenzbereich von 3 MHz bis 4 MHz (das 80-m-Amateurfunkband reicht von 3,5 MHz bis 3,8 MHz), ist zu beobachten, daß der Drehkondensator nur bis etwa 55 pF genutzt wird. Der Funkamateur nutzt aber mit geeigneten Berechnungen und Schaltungen möglichst den gesamten Drehwinkel.

1.3. Tabellen

In Tabellen sind ebenfalls Ergebnisse bestimmter Zusammenhänge dargestellt, so daß bekannten Ausgangswerten die entsprechenden Ergebnisse zugeordnet sind. Um auch hier nicht immer wieder die Einheiten wiederholen zu müssen, werden sie in den Kopf der Tabelle geschrieben. Der Anfänger interessiert sich fast immer zuerst für den Empfang des Regionalsenders (Tabelle 1.3. und Tabelle 1.4.).

Tabelle 1.3. Induktivitäten für Empfängerspulen zum Empfang von Radio DDR I bei Verwendung eines Drehkondensators von 500 pF (Frequenzen, Stand 30. 3. 1979)

Radio DDR I	f in kHz	L in mH
Greifswald	531	0,179
Leipzig	531	0,179
Neubrandenburg	531	0,179
Rostock	558	0,165
Schwerin	576	0,152
Potsdam	603	0,139
Putbus	729	0,095
Königs Wusterhausen	882	0,065
Burg	1044	0,046
Dresden	1044	0,046
Wachenbrunn	1044	0,046

Tabelle 1.4. Induktivitäten für Empfängerspulen zum Empfang von Stimme der DDR bei Verwendung eines Drehkondensators von 500 pF (Frequenzen, Stand 30. 3. 1979)

Stimme der DDR	f in kHz	L in mH	Bereich
Oranienburg	182	1,527	LW
Burg	783	0,082	MW
Berlin	1 359	0,027	MW
Berlin	6 115	0,001 353	KW
Berlin	7 185	0,000 980	KW

1.4. SI-Einheiten

Das »Internationale Einheitensystem« (Systeme International D'Unites), für das in allen Sprachen die Abkürzung »SI« verwendet wird, ist ein Einheitensystem, das mit 7 Basiseinheiten und 2 ergänzenden Einheiten in Naturwissenschaft und Technik auskommt.

Tabelle 1.5. Basiseinheiten des SI

Größe	Einheit	Einheitenzeichen
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Stromstärke	Ampere	A
Temperatur	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candela	cd
Als ergänzende Einheiten wurden hinzugefügt		
Ebener Winkel	Radiant	rad
Raumwinkel	Steradiant	sr

Es ist auf der 11. Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CGPM) im Jahre 1960 für 6 Basiseinheiten erarbeitet und 1971 auf der 14. CGPM durch eine weitere Basiseinheit vervollständigt worden.

In der DDR ist das SI gesetzliches Einheitensystem [6]. Von den vielen Vorteilen, die sich durch das SI ergeben, sollen nur 2 genannt werden:

- Alle Einheiten, die in Naturwissenschaft und Technik benötigt werden, lassen sich auf 7 Basiseinheiten und 2 ergänzende Einheiten zurückführen.
- Alle Einheiten sind so miteinander verbunden, daß die Vielfalt systembedingter Umrechnungsfaktoren wegfällt.

Aus der Sicht der internationalen Anwendung kann man die Rationalisierung in Wissenschaft und Technik sowie im dazugehörigen Schrifttum nur ahnen. Die Basiseinheiten des SI sind in Tabelle 1.5. zusammengestellt.

Ferner gibt es abgeleitete SI-Einheiten mit selbständigen Namen. Sie sind in Tabelle 1.6. enthalten.

Beim SI können dezimale Vielfache verwendet werden. Vorsätze, die einer ganzzahligen Potenz von 1000 entsprechen, sind zu bevorzugen. Dabei ist die Potenzschreibweise anzuwenden. Sie bringt

Tabelle 1.6. Abgeleitete SI-Einheiten mit selbständigem Namen

Größe	Einheit	Einheitenzeichen	Beziehungen zu anderen SI-Einheiten
Frequenz	Hertz	Hz	$1\,Hz = 1\,s^{-1}$
Kraft	Newton	N	$1\,N = 1\,kg \cdot m \cdot s^{-2}$
Druck, Spannung	Pascal	Pa	$1\,Pa = 1\,N \cdot m^{-2}$
Energie	Joule	J	$1\,J = 1\,N \cdot m$
Leistung	Watt	W	$1\,W = 1\,J \cdot s^{-1}$
Elektrizitätsmenge	Coulomb	C	$1\,C = 1\,A \cdot s$
Elektrische Spannung	Volt	V	$1\,V = 1\,W \cdot A^{-1}$
Elektrische Kapazität	Farad	F	$1\,F = 1\,C \cdot V^{-1}$
Elektrischer Widerstand	Ohm	Ω	$1\,\Omega = 1\,V \cdot A^{-1}$
Elektrischer Leitwert	Siemens	S	$1\,S = 1\,\Omega^{-1}$
Magnetischer Fluß	Weber	Wb	$1\,Wb = 1\,V \cdot s$
Magnetische Flußdichte	Tesla	T	$1\,T = 1\,Wb \cdot m^{-2}$
Induktivität	Henry	H	$1\,H = 1\,Wb \cdot A^{-1}$
Lichtstrom	Lumen	lm	$1\,lm = 1\,cd \cdot sr$
Beleuchtungsstärke	Lux	lx	$1\,lx = 1\,lm \cdot m^{-2}$
Energiedosis	Gray	Gy	$1\,Gy = 1\,J \cdot kg^{-1}$
Aktivität	Becquerel	Bq	$1\,Bq = 1\,s^{-1}$

Tabelle 1.7. Vorsätze zur Bildung von dezimalen Vielfachen und Teilen von SI-Einheiten

Vorsatz	Kurzzeichen	Faktor
Exa	E	10^{18}
Peta	P	10^{15}
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^{9}
Mega	M	10^{6}
Kilo	k	10^{3}
Hekto	h	10^{2}
Deka	da	10
Dezi	d	10^{-1}
Zenti	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Mikro	µ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Piko	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

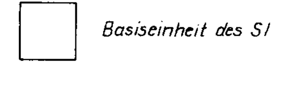
bei der Berechnung von Schaltungsentwürfen viele Vereinfachungen mit sich. In Tabelle 1.7. sind die für das SI erlaubten Vorsätze zusammengestellt.

Die wichtigste Basiseinheit ist das Ampere. Von ihr werden alle anderen Einheiten, die man in der Elektro- und Funktechnik benötigt, abgeleitet. Die Definition lautet: **Das Ampere ist die Stärke des zeitlich unveränderlichen elektrischen Stroms durch 2 geradlinige, parallele, unendlich lange Leiter von vernachlässigbarem Querschnitt, die den Abstand 1 m haben und zwischen denen die durch den Strom elektrodynamisch hervorgerufene Kraft im leeren Raum je 1 m Länge der Doppelleitung** $2 \cdot 10^{-7}$ N beträgt. Dieses Ampere läßt sich durch geeignete Maßnahmen darstellen. Näheres darüber findet der interessierte Leser in [7].

Um aus dem Ampere andere Einheiten, Vielfache und Teile ableiten zu können, wendet man eine einfache Methode mit Graphen an.

Ein Graph ist die zeichnerische Abbildung zwischen Veränderlichen von Systemen linearer algebraischer Gleichungen. Diese Eigenschaft läßt sich zum Ablesen und Bilden von Einheiten nutzen.

Ein Graph ist gekennzeichnet durch Knoten, Zweige und einen Richtungspfeil. Bild 1.6 zeigt die Darstellung der Knoten, Bild 1.7 die





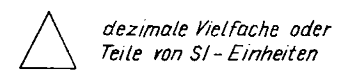


Bild 1.6
Bedeutung der Knoten in der Graphentafel Bild 1.8

Ablesevorschrift. Mit den auf den Graphen eingetragenen Zahlenwerten oder Einheiten in Pfeilrichtung wird multipliziert, entgegen der Pfeilrichtung dividiert. Man geht grundsätzlich von der Einheit aus, die umgerechnet werden soll.

Beispiel

Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Einheiten Ω und V? Man beginnt bei Ω, sucht dann V, liest in Pfeilrichtung ab und erhält

$$\Omega = V \cdot A^{-1}. \quad (1.21)$$

Beispiel

Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Einheiten V und Ω? Man beginnt bei V, sucht Ω und geht nun von Ω in Richtung V entgegen der Pfeilrichtung, also dividieren. Das ergibt

$$V = \Omega \cdot A. \quad (1.22)$$

Die weiteren Beispiele in Bild 1.8 sind eindeutig.

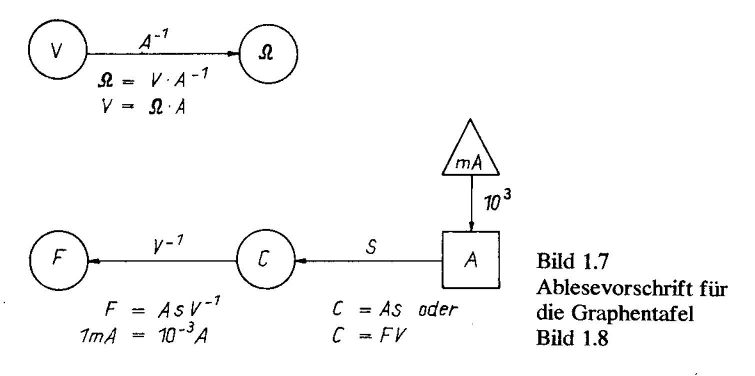


Bild 1.7
Ablesevorschrift für die Graphentafel Bild 1.8

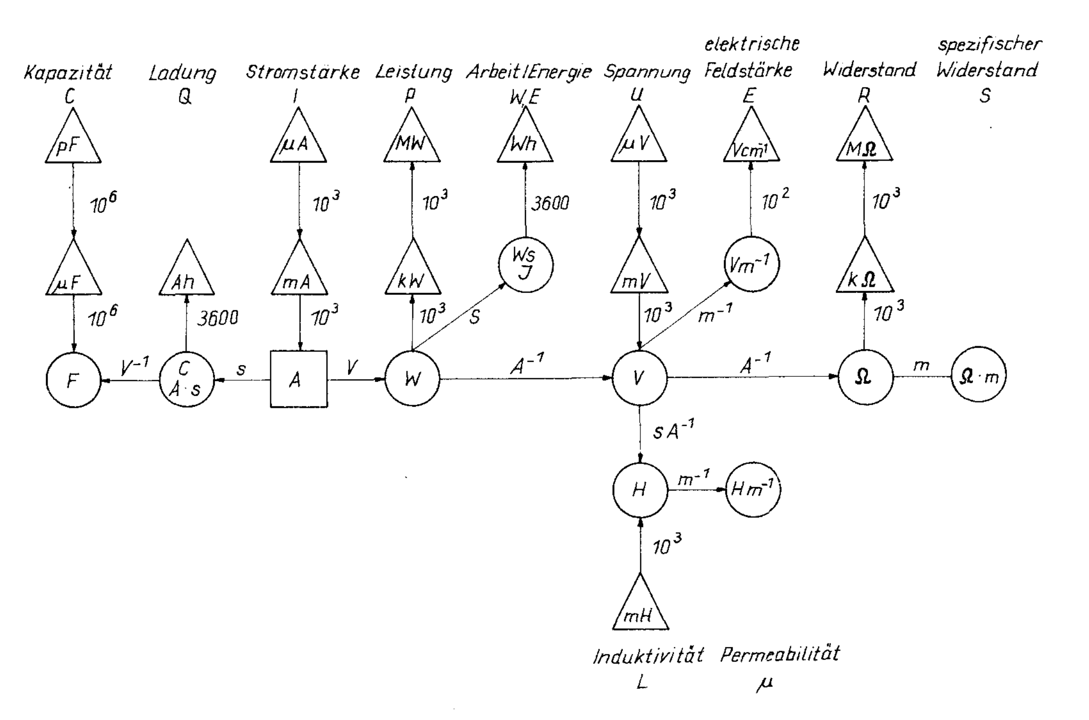


Bild 1.8 Graphentafel zur Umrechnung von SI-Einheiten

1.5. Zugeschnittene Größengleichungen

In der Praxis arbeitet man bevorzugt mit zugeschnittenen Größengleichungen. Aus ihnen sind sofort die physikalischen Zusammenhänge und auch die Einheiten zu ersehen. Die Einheiten entsprechen dabei praktischen Erfahrungen. Außerdem ermöglichen zugeschnittene Größengleichungen eine unbegrenzte Anwendung, ohne immer wieder die Einheiten für die Größen neu berechnen zu müssen. Alle in zugeschnittenen Größengleichungen auftretenden Werte, Faktoren und auch Einheiten werden genau wie in der Mathematik wie Terme und nach den für sie geltenden Rechengesetzen der Gleichungslehre behandelt.

Will man sich bei der Aufbereitung einer Aufgabe über die physikalischen Zusammenhänge informieren, so nimmt man dazu die Größengleichung. Die Größengleichung

$$R = \frac{U}{I} \tag{1.23}$$

gibt die physikalischen Zusammenhänge zwischen Spannung, Strom und Widerstand wieder. Werden nun bestimmte Einheiten für die einzelnen Größen gefordert, dann muß diese Größengleichung in eine zugeschnittene Größengleichung umgerechnet werden.

Die Größengleichung wird in 2 Schritten in eine zugeschnittene Größengleichung überführt:

a – Jede Größe wird durch die gewünschte Einheit dividiert. Dabei verwendet man den schrägen Bruchstrich. Gleichzeitig wird die Größe mit der gleichen Einheit multipliziert. Das entspricht mathematisch gesehen der Erweiterung mit einem Bruch, dessen Zähler und Nenner gleich sind. Ein solcher Bruch hat aber den Wert 1. Jede Größe oder Zahl darf aber mit 1 multipliziert werden, ohne daß sich dadurch das Ergebnis verfälscht.

b – Nun werden alle Einheiten zusammengefaßt, die nicht unter schrägen Bruchstrichen stehen. Daraus wird ein Zahlenwert berechnet. In diesen Zahlenwert werden bereits vorhandene Faktoren (auch Quotienten) einbezogen und ergeben einen Faktor, der ebenfalls wie die Einheiten nicht immer wieder neu berechnet werden muß.

Es ist notwendig, sich die einzelnen Teilschritte genauer anzusehen. Zu oft findet man in der Fachliteratur solche oder ähnliche Formulierungen wie »nach mehreren Umformungen erhält man«, und der Anfänger steht dann fast immer vor der Tatsache, sich mit dem Gegebenen zufriedengeben zu müssen. Im nachfolgenden Beispiel

wird wieder von der *Thomsonschen* Schwingungsgleichung ausgegangen, weil sie für die Experimente benötigt wird.

Beispiel

Es ist die Induktivität einer Spule in µH zu berechnen, wenn die Kapazität in pF und die Frequenz in MHz bekannt sind. Diese Aufgabenstellung läuft auf die Umrechnung der *Thomsonschen* Schwingungsgleichung als Größengleichung in eine zugeschnittene Größengleichung hinaus.

Man geht aus von

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Nun wird nach L aufgelöst:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}.$$

Jetzt werden die in die Rechnung eingehenden geforderten Einheiten festgelegt:

L in µH, C in pF und f in MHz.

Mit diesen Einheiten wird gemäß dem Schritt a erweitert, also Größe durch ihre Einheit mit schrägem Bruchstrich dividieren und dann multiplizieren. Man erhält

$$L/_{\pi\mathrm{H}} \cdot \mu\mathrm{H} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot C/_{\mathrm{pF}} \cdot \mathrm{pF} \cdot f^2/_{\mathrm{MHz}^2} \cdot \mathrm{MHz}^2}.$$

Eine Größe, die in einer Potenz oder Wurzel auftritt, überträgt diese Vorschrift auch auf ihre Einheit, also f^2 erfordert MHz^2. Bei der Einheit ist nach den Bestimmungen für das SI zu beachten, daß die Potenz oder Wurzel auch für den Vorsatz gilt. Demnach ist

$$\mathrm{MHz}^2 = 10^6\,\mathrm{Hz}^2, \tag{1.24}$$

$$\mathrm{MHz}^2 = 10^{12}\,\mathrm{Hz}. \tag{1.25}$$

In den nächsten beiden Teilschritten werden die Einheiten, die nicht unter einem schrägen Bruchstrich stehen, einschließlich der anderen Faktoren, zusammengefaßt und berechnet. Das entspricht dem Schritt b:

$$L/_{\mu\mathrm{H}} = \frac{1}{C/_{\mathrm{pF}} \cdot f^2/_{\mathrm{MHz}^2}} \cdot \frac{1}{4\pi^2 \cdot \mathrm{MHz}^2 \cdot \mathrm{pF} \cdot \mu\mathrm{H}}.$$

Der nächste Teilschritt wird als Nebenrechnung ausgeführt. Die Vielfachen der Einheiten werden auf SI-Einheiten zurückgeführt:

$$\frac{1}{4\pi^{-2} \cdot \mathrm{MHz}^2 \cdot \mathrm{pF} \cdot \mu\mathrm{H}} \triangleq \frac{1}{4\pi^2 \cdot 10^{12} \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-6}}.$$

Der Faktor K ist dann:

$$K = 25\,330.$$

Damit erhält man die zugeschnittene Größengleichung

$$L/_{\mu\mathrm{H}} = \frac{25\,330}{C/_{\mathrm{pF}} \cdot f^2/_{\mathrm{MHz}^2}}.$$

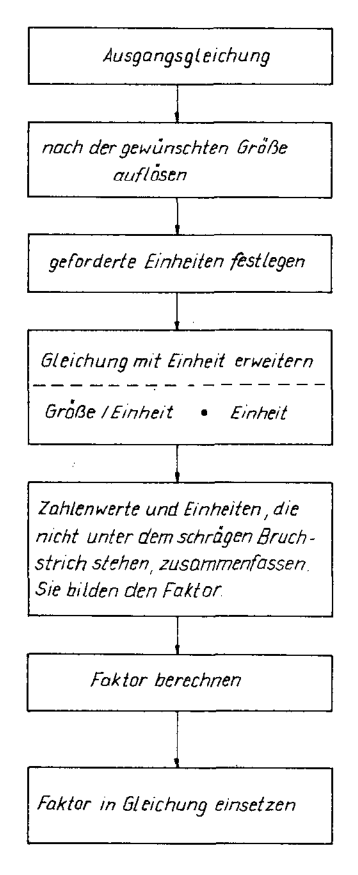


Bild 1.9
Lösungsvariante zur Umrechnung von Größengleichungen in zugeschnittene Größengleichungen

In der Fachliteratur findet man auch häufig folgende Schreibweise:

$$L = \frac{25\,330}{C \cdot f^2}; \qquad \frac{L}{\mu H} \; \frac{C}{pF} \; \frac{f}{MH_2} \tag{1.26}$$

oder

$$L = \frac{25\,330}{C \cdot f^2}; \qquad L \text{ in } \mu H,\ C \text{ in pF},\ f \text{ in MHz}. \tag{1.27}$$

Gleichung (1.26) und Gleichung (1.27) sind aus der zugeschnittenen Größengleichung abgeleitete Zahlenwertgleichungen. In Bild 1.9 ist die Lösungsvariante zur Umrechnung einer Größengleichung in eine zugeschnittene Größengleichung zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 1.8. Ergebnisse der zugeschnittenen Größengleichungen zur Berechnung von Schwingkreisgrößen

	Geforderte Einheiten											
Größe	f in kHz	L in mH	C in pF	f in kHz	L in µH	C in pF	f in MHz	L in mH	C in pF	f in MHz	L in µH	C in pF
f	$\frac{5\,030}{L \cdot C}$			$\frac{1\,592 \cdot 10^2}{L \cdot C}$			$\frac{5{,}03}{L \cdot C}$			$\frac{159{,}2}{L \cdot C}$		
L	$\frac{253 \cdot 10^5}{f^2 \cdot C}$			$\frac{253 \cdot 10^8}{f^2 \cdot C}$			$\frac{25{,}3}{f^2 \cdot C}$			$\frac{253 \cdot 10^2}{f^2 \cdot C}$		
C	$\frac{253 \cdot 10^5}{f^2 \cdot L}$			$\frac{253 \cdot 10^8}{f^2 \cdot L}$			$\frac{25{,}3}{f^2 \cdot L}$			$\frac{253 \cdot 10^2}{f^2 \cdot L}$		

Tabelle 1.8. enthält die Ergebnisse der zugeschnittenen Größengleichungen für Schwingkreisberechnungen.
Die Anwendung dieser Methode sei an einer Textstelle aus [9] erklärt.
Dort gibt der Autor zur Berechnung der Induktivität von einlagigen Zylinderspulen die bekannte Formel

$$L = \frac{w^2 \cdot \mu_r \cdot \mu_o \cdot A}{l + 0{,}45 \cdot d} \tag{1.28}$$

an. Dazu werden folgende Bedingungen gesetzt:
Die Formel gilt nur, wenn das Verhältnis aus Durchmesser d der Spule zur Länge l, also $d/l = 5$ ist. w ist die Anzahl der Windungen, A die Querschnittsfläche, μ_0 die Induktionskonstante mit

$\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$ H/m und μ_r die relative effektive Permeabilität des Kerns, bei Luft gilt $\mu_r = 1$.

Dann folgt das Beispiel aus [9] wörtlich:

»Auf einem Stiefelkörper mit 8 mm Durchmesser werden 100 Windungen 0,3-mm-CuL gewickelt, so daß die Spule 35 mm lang wird. Ihre Induktivität ist

$$L = \frac{100^2 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 10^{-7}\,\text{H/m} \cdot 4^2 \cdot \text{mm}^2 \cdot 3{,}14}{35\,\text{mm} + 0{,}45 \cdot 8\,\text{mm}} = 16{,}4\,\mu\text{H}.$$

Die Reihenfolge der Größen stimmt mit Gleichung (1.26) überein. Rechnet man nun den Zahlenwert nach, so kommt man nicht auf das Ergebnis, sondern erhält 0,0164. Da die Ziffernfolge stimmt, weist das Ergebnis auf eine andere Einheit hin. Also rechnet man die Einheiten nach:

$$\frac{\text{H/m} \cdot \text{mm}^2}{\text{mm}} = \frac{\text{H} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}^2}{10^{-3}\,\text{m}},$$

$$\frac{\text{H/m} \cdot \text{mm}^2}{\text{mm}} = 10^{-3}\,\text{H}.$$

10^{-3} H sind aber mH. Verbindet man nun den Zahlenwert mit der Einheit, so erhält man 0,0164 mH und daraus endlich 16,4 µH. Bei Beachtung der für das SI verbindlichen Regeln wäre man sofort auf ein eindeutiges Ergebnis gekommen.

$$\text{L} \doteq \frac{100^2 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 10^{-7}\,\text{H} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 4^2 \cdot 10^{-6}\,\text{m}^2 \cdot \pi}{(35 + 0{,}45 \cdot 8) \cdot 10^{-3}\,\text{m}}$$

Die Einheiten lassen sich sofort bis auf H kürzen. Der Zahlenwert wird in einem Rechengang ermittelt.

$$L = 0{,}0000164\,H = 16{,}4\,\mu H.$$

Die Vorteile der konsequenten Anwendung der SI-Bestimmungen erleichtern auch dem Anfänger den Einblick in die Zusammenhänge.

2. Experimentelle Voraussetzungen

Zum Experimentieren bieten sich mehrere Möglichkeiten, die von der Gestaltung, der Handhabung, dem Umfang und auch der für den Anfänger nicht unwichtigen Frage nach dem Preis abhängig sind, an. Die einfachste und billigste Methode, nach der im wesentlichen auch hier verfahren wird, ist in Abschnitt 2.4. bis Abschnitt 2.6. beschrieben.

2.1. Baukästen

In den letzten Jahren haben sich die Baukastensysteme *PIKO-Elektrobaukasten, pikotron* und *POLYTRONIC* bewährt. Alle Systeme enthalten ausführliche Anleitungshefte. Während der *PIKO-Elektrobaukasten* für Experimente zu den Grundlagen der Elektrotechnik und des Magnetismus geeignet ist, können mit den anderen Baukastensystemen Versuche zu den Grundlagen der Nachrichtentechnik, HF-Technik und digitalen Schaltungstechnik durchgeführt werden. Sehr zu begrüßen ist, daß das neue *POLYTRONIC-System* mit den in den allgemeinbildenden polytechnischen Oberschulen im Werkunterricht und in den Arbeitsgemeinschaften angewendeten Baukasten *Elektrotechnik I* und der Baukastenreihe *Elektronik* in Rastermaß der Grundplatten und der Bauelementenaufbereitung übereinstimmen. Damit ergeben sich vielfältige Kombinationsmöglichkeiten und ein fast unbegrenztes Experimentierfeld.

2.1.1. PIKO-Elektrobaukasten

Der *PIKO-Elektrobaukasten* (Bild 2.1) umfaßt im einzelnen folgende Versuche, die im Anleitungsheft ausführlich beschrieben sind:
Mit den 154 Einzelteilen des Baukastens lassen sich also mindestens die im Anleitungsheft vorgegebenen 140 Versuche ausführen. Dieser Baukasten eignet sich bereits für die jüngsten Anfänger im Alter von 9 bis 10 Jahren. Als Verbindungstechnik kommt nur das Verschrauben in Frage.

Tabelle 2.1. Versuche, die mit dem PIKO-Elektrobaukasten durchgeführt werden können [10]

Anzahl	Gebiet	Nummer im Anleitungsheft
35	Magnetismus	1.1 bis 1.35
10	Reibungselektrizität	2.1 bis 2.10
15	Berührungselektrizität	3.1 bis 3.15
30	Grundschaltungen und Anwendungen	4.1 bis 4.30
20	Elektromagnetismus	5.1 bis 5.20
30	Anwendungen des Elektromagnetismus und andere Schaltungen	6.1 bis 6.30

Mit Bauelementen aus der HF-Technik ist der Baukasten mit wenigen Mitteln erweiterungsfähig. Bild 2.2 und Bild 2.3 zeigen eine einfache Morsestation bei Verwendung einer Lüsterklemmleiste und üblichen HF-Bauelementen. Bild 2.4 zeigt den Stromlaufplan. Zum sofortigen Experimentieren und Nachbauen ist der Bauschaltplan (Bild 2.5) eingefügt. Eine solche Schaltung ist leicht zu verwirklichen.



Bild 2.1 *PIKO-Elektrobaukasten*

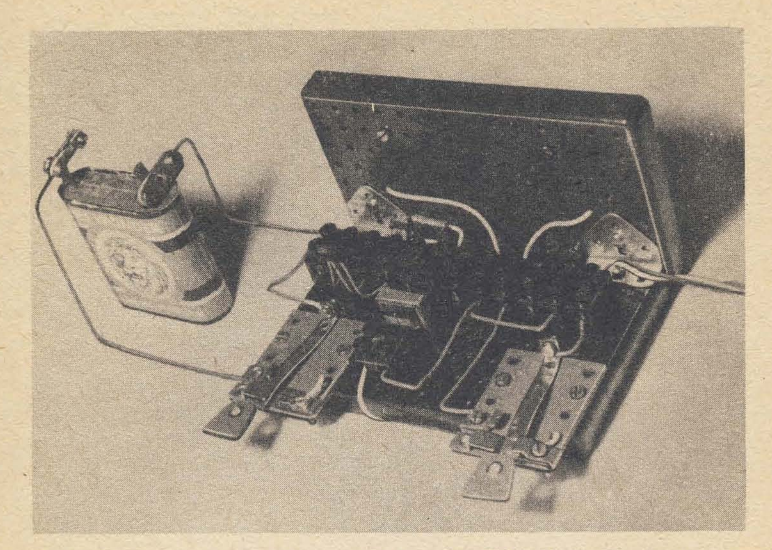


Bild 2.2 Morsestation, gebaut aus Teilen des *PIKO-Elektrobaukastens* und HF-Bauelementen, Vorderansicht

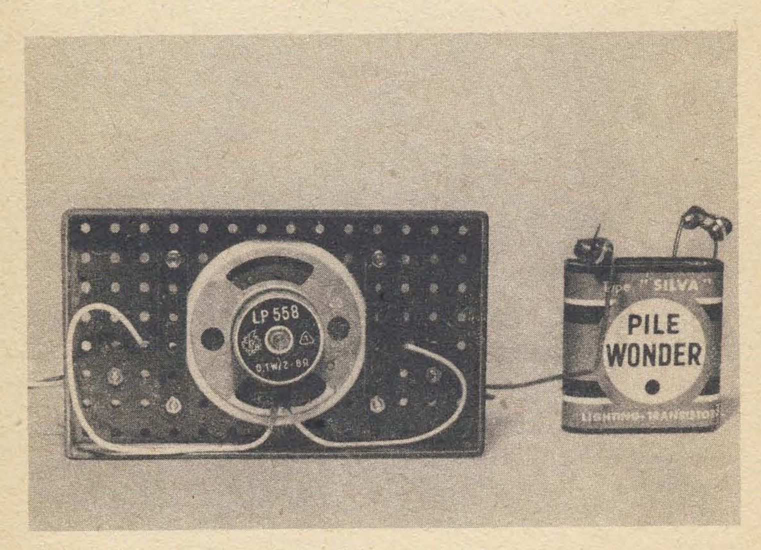


Bild 2.3 Morsestation, Rückansicht

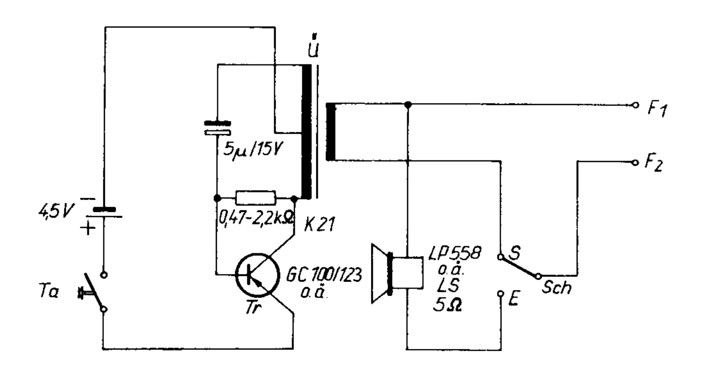


Bild 2.4 Stromlaufplan für Morsestation Bild 2.2 (Tr aus Bastlerbeutel 1)

Leser, die diesen Baukasten besitzen, brauchten sich zu den einzelnen Versuchen, die in dieser Broschüre beschrieben werden, nur einige zusätzliche Bauelemente zu beschaffen. Es ist durchaus nicht so, daß immer gleich ein neuer Experimentierbaukasten benötigt wird.

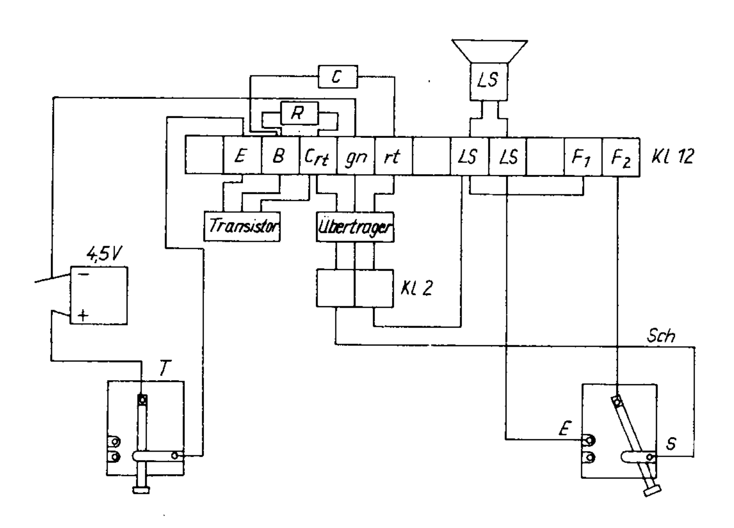


Bild 2.5 Bauschaltplan zur Morsestation Bild 2.2

2.1.2. Baukastensystem pikotron

Das Baukastensystem *pikotron* (Bild 2.6) besteht aus 3 Baukästen: dem Grundbaukasten »e1«, dem Erweiterungsbaukasten I »e2«, dem Erweiterungsbaukasten II »e3« und einem ausführlichen Anleitungsheft. Die im Anleitungsheft [11] erläuterten und ausgewerteten 60 Experimente aus den Gebieten Signal- und Überwachungstechnik, NF-Verstärker, Nachrichtentechnik und elektronische Meßtechnik sind nur ein kleiner Ausschnitt des überhaupt Möglichen. Sie bilden die Grundlage zu weiteren eigenen Experimenten und Schaltungserprobungen. Das Baukastensystem besteht aus Grundbausteinen 40 mm × 40 mm × 25 mm. In diese Grundbausteine werden die elektronischen Bauelemente eingeschraubt. Die so bestückten Bausteine werden mit Drähten verbunden, die man von oben in die Bausteine einsteckt. Sie enden an Kontaktfedern in den Bausteinen.
Die Erfahrung lehrt, daß zum Verständnis des Textes im Anleitungsheft einige Grundkenntnisse vorausgesetzt werden müssen. Die

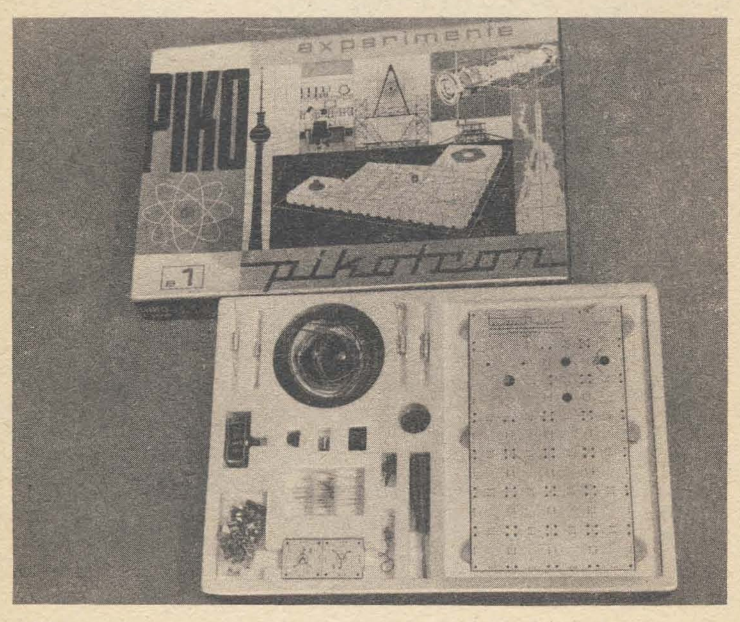


Bild 2.6 *pikotron-Baukasten*

Bild 2.7 KME-3-Schaltkreis im *pikotron*-Baustein

ausführliche und farbige Illustration der Schaltungen und Aufbauskizzen ermöglicht allerdings auch jüngeren Bastlern ein erfolgreiches Experimentieren.
Dieses Baukastensystem ist ebenfalls mit wenigen Mitteln erweiterungsfähig [12]. Als Anregung seien hier nur 2 Beispiele angedeutet, die bereits mit Erfolg praktiziert worden sind. Bild 2.7 zeigt einen in den Großbaustein mit den Maßen 80 mm × 80 mm × 25 mm eingebauten KME-3-Schaltkreis 21 12 111. Dieser Schaltkreis in Hybridtechnik enthält einen 1stufigen Verstärker nach Bild 2.8.
Ein weiteres Beispiel ist in Bild 2.9 dargestellt. Aus 4 Grundbaustei-

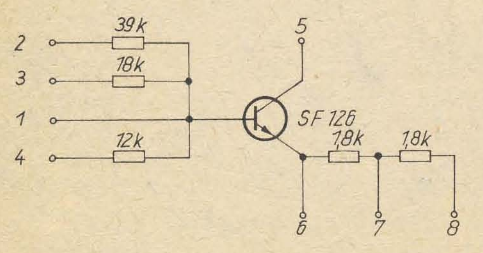


Bild 2.8
Stromlaufplan des 1stufigen Verstärkers 21 12 111 zu Bild 2.7

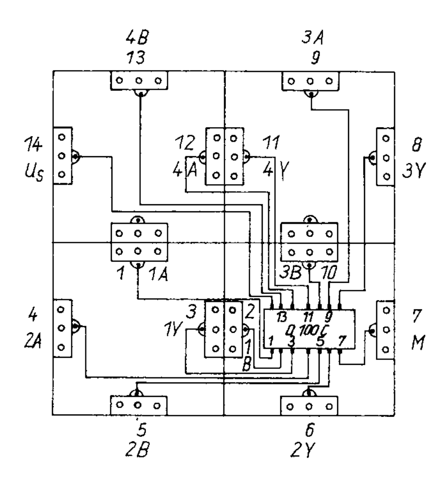


Bild 2.9
pikotron-Baustein mit dem Schaltkreis *D 100 C*

nen I wurde ein Schaltkreisbaustein mit einem digitalen Schaltkreis *D 100 C* entwickelt. An Stelle des Schaltkreises *D 100 C* lassen sich auch Schaltkreise der P-, U-, A- und R-Reihe einsetzen. Damit ist dieses Baukastensystem in Abhängigkeit vom eigenen schöpferischen Gestalten für Experimente der neuesten Schaltungstechnik ausbaufähig.

2.1.3. Baukastensystem POLYTRONIC

Das Baukastensystem *POLYTRONIC* umfaßt 3 Stufen. Bild 2.10 zeigt die Speicherplatte des Baukastensystems mit den Bauelementen der Stufen A bis C und im Vordergrund das Anleitungsheft, Teil 1.

In den beiden Anleitungsheften sind 70 Experimente als Anregung vorgegeben. Sie lassen sich nach eigenen Vorstellungen im Rahmen des Bauelementevorrats erweitern und variieren. So wurden mit *POLYTRONIC* Funktionsmodelle aus der Broschüre »Funkbetrieb in Arbeitsgemeinschaften« [13] mit Erfolg nachgebaut. Man sollte unbedingt mit der Stufe A beginnen, da sie als Grundbaukasten anzusehen ist.

Die Stufe A umfaßt das Gebiet Elektrotechnik und enthält die dafür erforderlichen Bauelemente. Zu den Experimenten gehören der einfache und der verzweigte Stromkreis, logische Grundschaltungen wie UND und ODER und auch einfache Transistorschaltungen, z. B.

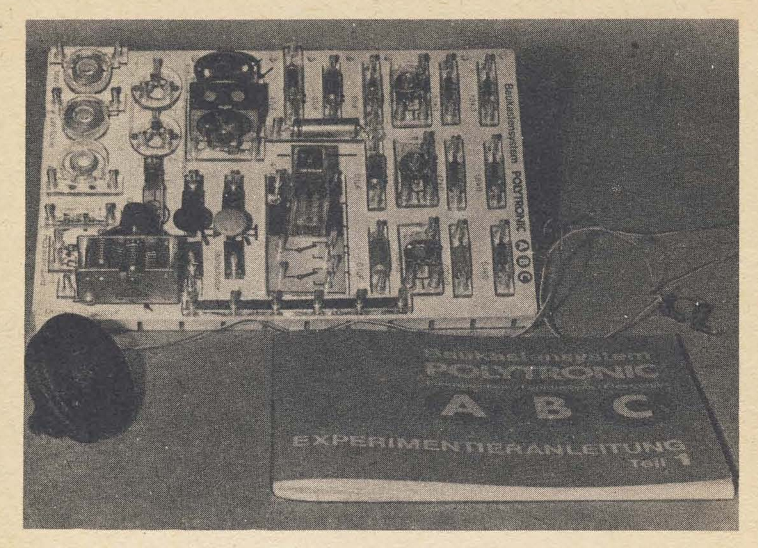


Bild 2.10 Speicherplatte des Baukastensystems *POLYTRONIC-ABC* mit allen Bauelementen und dem Anleitungsheft, Teil 1

Transistor als Schalter, 1stufiger NF-Verstärker und die 3 Grundschaltungen der Multivibratoren. Diese Grundlagen werden in 30 Experimenten erarbeitet.
Die Experimente der Stufe B sind im 2. Teil des Anleitungshefts beschrieben. Die Stufe B enthält den »Zusatz Funktechnik«. Daraus geht hervor, daß die Stufe A vorhanden sein muß, wenn auf dem Gebiet der Funktechnik weiter experimentiert werden soll. Wie auch in Stufe A wird vom Kennenlernen der Bauelemente ausgegangen. Als neue Bauelemente kommen die Diode, der Drehkondensator, ein MW- und LW-Spulensatz und ein Kopfhörer hinzu. Die Experimente geben Aufschluß über die Funktionsweise eines 2stufigen NF-Verstärkers, eines Diodenempfängers, eines Audionempfängers eines HF-Generators und einiger Elektronikschaltungen.
Die Stufe C enthält ebenfalls neue Bauelemente. Sie ist mit »Ergänzung Elektronik« bezeichnet. Zu den neuen Bauelementen gehören: ein Transistor, ein Relais, ein Elektromotor, eine Lochscheibe und ein Paar Elektroden. Die Experimente bestehen dann aus: Grundschaltungen eines Relais, Temperaturschalter, Temperaturregler, akustische Schalter und Füllstandsregler (insgesamt 20 weiterführende Experimente).

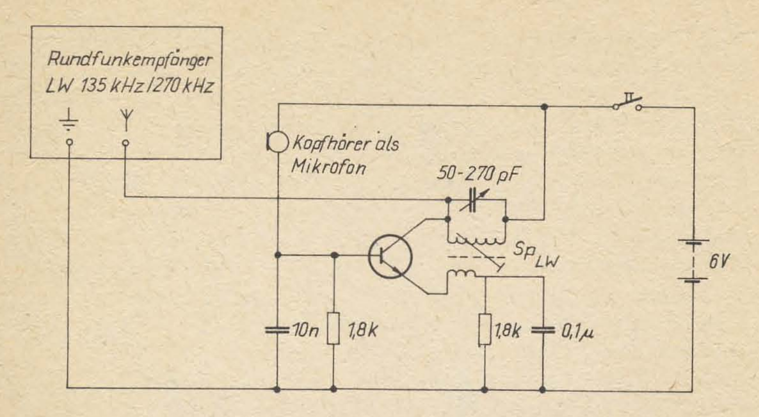


Bild 2.11 Stromlaufplan des Versuchs B6 »HF-Generator mit Basismodulation« und angeschlossenem Rundfunkempfänger

Für das Baukastensystem *POLYTRONIC* hat das Ministerium für Post- und Fernmeldewesen die Festfrequenz 135 kHz zum Experimentieren freigegeben [14]. Dabei ist zu beachten, daß nur die im Anleitungsheft für den jeweiligen Versuch angegebenen Baule-

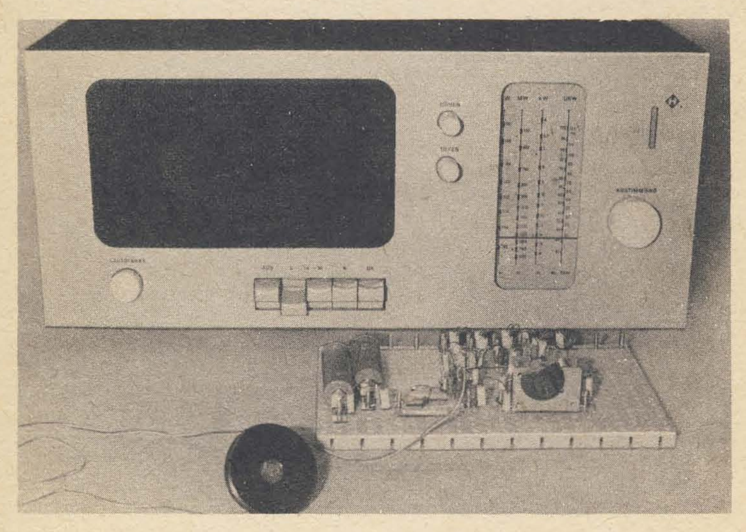


Bild 2.12 Praktischer Aufbau des Versuchs mit einem Röhren-Rundfunkempfänger

mente verwendet werden dürfen. Zum Nachweis der Schwingungen ist der HF-Generator mit 2 kurzen Drähten über Antennen- und Erdbuchse direkt mit dem Rundfunkempfänger zu verbinden. Bild 2.11 enthält den Stromlaufplan für den Versuch B6: »HF-Generator mit Basismodulation«. In Bild 2.12 hat man für den Versuch einen alten Röhrensuper verwendet. Man empfängt die 1. Oberwelle mit 270 kHz, da 135 kHz nicht auf dem Empfänger vorhanden ist. Der Versuch ist mit dem modernen sowjetischen Transistorempfänger *WEGA 402* wiederholt worden. Eingespeist wird über die Antennenbuchse für die Außenantenne und den Masseanschluß in der Batteriekammer. Beide Versuche haben einwandfrei funktioniert. Autor und Verlag weisen ausdrücklich darauf hin, daß dieses Experiment nur von den Besitzern des Baukastens *POLYTRONIC* durchgeführt werden darf. Die Wiedergabe dieses Experiments sollte Möglichkeiten und Umfang dieses neuesten Baukastensystems zeigen, zumal, wie bereits festgestellt, diese Experimentiertechnik auch an den Schulen verwendet wird und daher überall als bekannt vorausgesetzt werden darf. Darin besteht der große Vorteil des Baukastensystems *POLYTRONIC*.

2.2. Bausätze

In den letzten Jahren sind verschiedene Bausatzreihen in den Handel gekommen: »Halbleiterbastlerbeutel«, »Schaltkreise« und »Elektronikbausätze«.

2.2.1. RFT-electronic-Halbleiterbastlerbeutel

Ferner sind erschienen: der Halbleiterbastlerbeutel 9 mit 5 Miniplasttransistoren für geregelte ZF-Stufen, 5 Miniplasttransistoren für ungeregelte ZF-Stufen und 2 Silizium-npn-Transistoren für höhere Betriebsspannungen bis etwa 100 V und kürzlich der Halbleiterbastlerbeutel 10 mit 6 Silizium-Leistungstransistoren mit Sperrspannungen $U_{CE} > 100$ V bei $I_{CEO} = 3$ mA, Stromverstärkung $h_{21E} \geqq 2$ bei $U_{CE} = 5$ V, $I_C = 4{,}5$ A. Die Gesamtverlustleistung P_{vmax} von 10 W wird bei $U_{CE} \leqq 4$ V angegeben. Mit diesen Transistoren können Transverter, Ladegeräte und anspruchsvolle Netzteile gebaut werden. Dazu sind dann noch andere Bauelemente erforderlich. Zu jedem Bauvorhaben ist eine genaue Stückliste im Anleitungsheft vorhanden.

Tabelle 2.2. Inhalt der RFT-electronic-Halbleiterbastlerbeutel 1 bis 8

Nr.	Transistoren Stück	≙ Typ	Technische Hinweise	Anwendung
1	11	*GC 100/GC 123*	P_{tot} = 50–120 mW	NF-Verstärker
	3	*GC 301*	P_{tot} = 400 mW Ge-pnp-Transistor	Prüfgeräte, Elektronikschaltungen
2	6	*GF 100/GF 105*	HF-Transistor	Empfängerschaltungen
	2	*GF 122*	HF-Drift-Transistor	LW bis UKW
	2	*GF 130/GF 132*	UKW-Drift-Transistor Ge-pnp-Transistor	AM-, FM-, ZF-Verstärker
3	2	*GD 100/GD 130*	1 W	NF-Verstärker hoher Leistung, elektronisch stabilisierte Netzteile, Elektronikschaltungen
	2	*GD 150/GD 180*	53 W	
	1	*GD 244/GD 240*	10 W Germanium-pnp-Transistoren	
4	4	*GY 099/GY 105*	0,1 A	Ge-Gleichrichter
	4	*GY 109/GY 115*	1 A	Si-Gleichrichter
	4	*SY 200/SY 210*	1 A	
5	4	*SY 160/SY 166*	10 A Silizium-Gleichrichter	Stromversorgungsgeräte für höhere Ströme
6	20	*SC 206/SC 207 SF 215/SF 216 SS 200/SS 202*	Silizium-Miniplasttransistoren	NF-, HF- und Schalteranwendungen
7	6	*SF 131/SF 137 SS 106/SS 109*	300 mW	NF-, HF- und Elektronikschaltungen
	6	*SF 021/SF 129 SS 120/SS 126*	600 mW	
8	4	*D 100 C*	LS 1	4 NAND-Gatter mit 2 Eingängen
	1	*D 110 C*	IS 2	3 NAND-Gatter mit je 3 Eingängen
	1	*D 130 C*	IS 4	1 NAND-Gatter mit 8 Eingängen
	1	*D 140 C*	IS 5	2 Leistungs-NAND-Gatter mit je 4 Eingängen

Auch der Bastlerbeutel »RFT-electronic-Schaltkreise«, den die Arbeitsstelle für Molekularelektronik Dresden konzipiert hat, läßt sich mit den bisher beschriebenen vergleichen. Er enthält digitale Schaltkreise der P-Reihe sowie ein Anleitungsheft.

2.2.2. RFT-electronic-Elektronikbausatz

Diese Bausätze sind jeweils für einen Schaltungsaufbau zusammengestellt. Sie enthalten die Halbleiter, die Leiterplatte und alle anderen benötigten Bauelemente sowie das Anleitungsheft. Elektronikbausätze gibt es für NF-Vorverstärker, einen Modellbahnbaustein, einen Zeitgeberbaustein und einen Lichtschrankenbaustein.

2.3. Bauelemente

Zum Experimentieren sind verschiedenartige Bauelemente erforderlich. Ohne sie lassen sich keine anderen Modelle und Schaltungen entwickeln. Schließlich soll das Ergebnis des Experimentierens als kleines Gerät oder selbständige Baustufe fest aufgebaut werden.

2.3.1. Elektrotechnische Bauelemente

Im Rahmen dieser Broschüre werden Bauelemente der Schwachstromtechnik bis zu Spannungen von 42 V benötigt. Glühlampenfassungen, Schalter, Taster, Summer, Klingel, Stecker aller Art und Buchsen sind in den unterschiedlichsten Ausführungen einzeln oder in Packungen erhältlich.

2.3.2. Elektronische Bauelemente

Es erweist sich als besonders günstig, neben den bereits in Abschnitt 2.2. beschriebenen Bausätzen, auf Halbleiter der Basteltypen, insbesondere bei Schaltkreisen auf die R- statt A- und P- statt D-Typen zurückgreifen *(A 211 ≙ R 211)*. Für die jeweils in den Experimenten angegebenen Bauelemente sollte zunächst die eigene Bastelkiste durchgesehen werden. Es kommt bei allen Versuchen auf die prinzipiellen Zusammenhänge an. Abweichungen sind also

möglich und stellen sich sicher wegen der Streuung der praktischen Daten einzelner Bauelemente ein. Ein Hinweis zum besseren Verständnis: Man beachte, daß ein Widerstand von 10 kΩ mit einer Toleranz von ±10% den Wertebereich von 9 kΩ bis 11 kΩ, also 2000 Ω umfassen kann.

2.3.3. Mechanische Bauelemente

Soweit mechanische Bauelemente für Baugruppen und Geräte benötigt werden, kommen Plaste, Holz und Hartpapier für Gehäuse und als Träger für Leiterplatten in Frage. Für Verbindungen, Verstrebungen und mechanische Verstärkungen eignen sich Einzelteile aus den Zusatzbeuteln der Metallbaukastenreihe *Construction.* Man braucht nicht den gesamten Baukasten zu kaufen. Das ist für den Anwender besonders preiswert. Es interessieren die Zusatzbeutel *Construction 310* mit Flachbändern, *Construction 311* mit Winkeln und Winkelbändern, *Construction 315* mit Schrauben und Muttern oder statt *315* auch *Construction 300,* der außer den Schrauben und Muttern noch Abdeckplatten aus Plast enthält, die sich zum Isolieren und Verkleiden eignen.

2.4. Experimentierbretter

Es gibt viele Möglichkeiten zu experimentieren und Versuchsschaltungen aufzubauen. Der Autor verwendet selbst mit Erfolg seit Jahren die »Klemmleistenmethode« [15]. Sie ist billig und die Handhabung einfach. Die Einzelteile sind schnell zu beschaffen.

2.4.1. Experimentierbrett EB 1

Das Experimentierbrett EB 1 ermöglicht den Aufbau kompletter Schaltungen in kurzer Zeit.
Es besteht aus einem Grundbrett von 250 mm × 250 mm × 20 mm (Bild 2.13). Im Abstand von jeweils 60 mm sind 3 12polige Lüsterklemmleisten aufgeschraubt. Aus den Lüsterklemmen wurden die kleinen Kontaktfedern entfernt. Das erleichtert das Einschieben der Bauelementeanschlüsse wesentlich. Da fast immer 2 oder mehrere Anschlüsse in einer Klemme vereint werden, ist eine sichere Kontaktgabe gewährleistet. Es folgt dann über eine 2polige Tele-

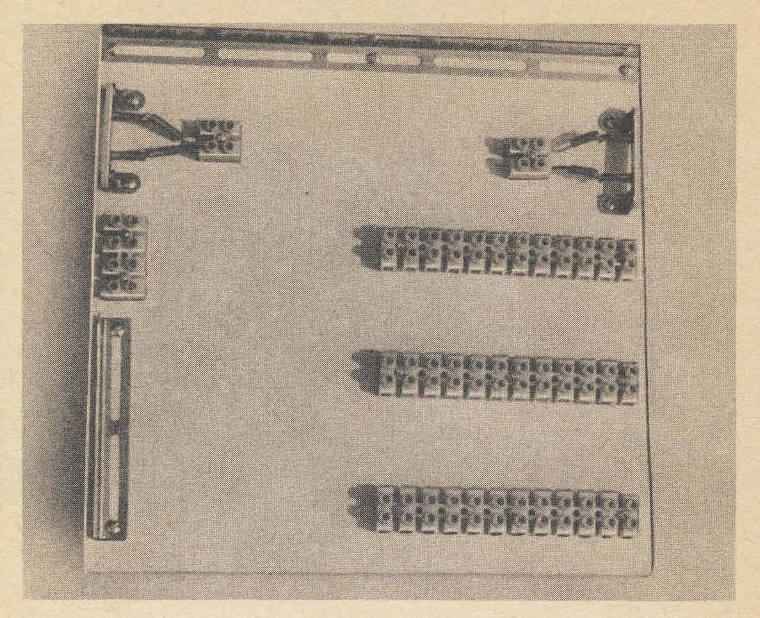


Bild 2.13 Experimentierbrett EB 1

fonbuchse der Anschluß für Antenne und Erde. An der Stirnseite befindet sich ein 25/5 Winkelband zum Anschrauben von Platten mit Drehkondensatoren, Potentiometern, Lautsprechern und ähnlichen größeren Bauelementen. An der linken Seite sind eine 2polige Telefonbuchse und eine 4polige Lüsterklemmleiste zur Aufnahme der Betriebsspannungen aus Batterien oder anderen Spannungsquellen angebracht. Es folgt dann noch einmal ein Winkelband 10/2 zur Aufnahme von größeren Bauelementen. Die Winkel und Winkelbänder sind dem bereits erwähnten Zusatzbeutel *Construction 311* (vergleiche auch Abschnitt 2.3.3.) entnommen.
Dieser Aufbau ist ebenfalls ein Vorschlag. Jede andere Variante ist möglich. Die Maße der Grundplatte haben sich aus der Praxis und der Beteiligung an der MMM ergeben. Da auf der MMM das Grundmaß für eine Ausstellungsfläche oder Wandfläche 1 000 mm × 1 000 mm beträgt, sind die Maße so gewählt, daß man die Experimentierbretter für Funktionsmodelle immer auf die Ausstellungsmaße oder Teile von ihnen zusammenstellen kann.

2.4.2. Experimentierbrett EB 2

Das Aufstellen der Spannungsquellen außerhalb des Experimentierbretts EB 1 ist manchmal hinderlich. Die Batterien fallen um, Verbindungsschnüre, die mit Krokodilklemmen an die Fahnenanschlüsse der Flachbatterien angeklemmt sind, verrutschen. Diese und ähnliche Erfahrungen haben zu der Überlegung geführt, ein Experimentierbrett EB 2 zur Spannungsversorgung anzufertigen. Die Auslegung richtet sich nach den persönlichen Wünschen und Anforderungen.
Die Aufbauskizze (Bild 2.14) enthält einen Klingeltransformator, der 6 V Wechselspannung liefert und ein Transistornetzteil speist. Der Transistornetzteil läßt sich aber auch separat aufbauen, stabilisieren und noch für andere Gleichspannungen auslegen. Schaltungsbeispiele dafür gibt es in einer Vielzahl in Zeitschriften und in [16]. Es bleibt noch Platz für Klemmvorrichtungen für Flachbatterien oder Batteriekammern von Transistorempfängern, in die 1,5-V-Elemente *R6* eingelegt werden können. Dann schaltet man am besten so, daß man Spannungen in Abständen von 1,5 V abnehmen kann [12]. Die Klemmvorrichtungen können aus Winkelbändern 10/2 und Winkeln 1/1 aus dem Zusatzbeutel *Construction 311* hergestellt werden.

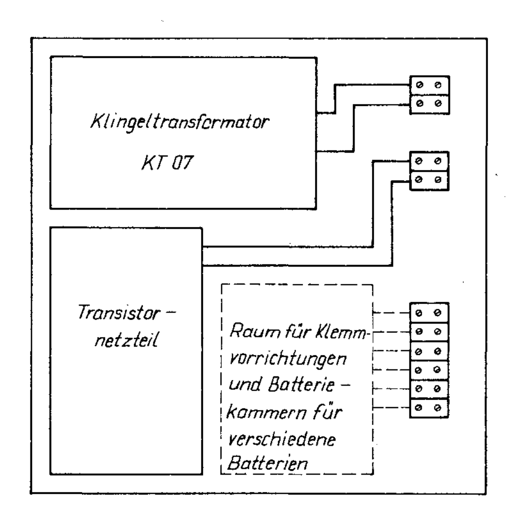


Bild 2.14
Experimentierbrett EB 2

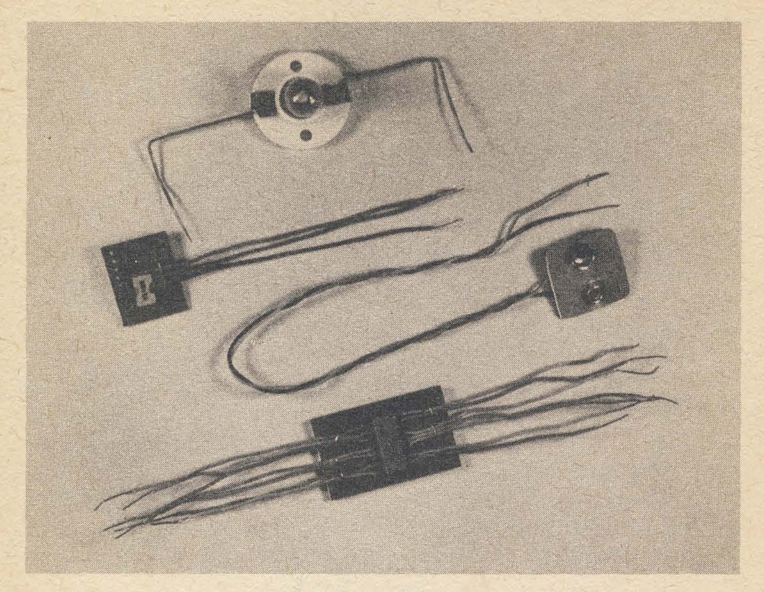


Bild 2.15 Zubehör zu den Experimentierbrettern

2.5. Zubehör

Für immer wieder zu verwendende Bauelemente bewährt sich die Anfertigung von Adaptern und Verbindungsschnüren. Für Transistoren und Schaltkreise ist es zweckmäßig, Fassungen auf eine kleine Leiterplatte aufzulöten und genügend lange Verbindungsleitungen für die Anschlüsse in den Klemmleisten zu lassen. Hat man keine Fassungen, werden die Transistoren und Schaltkreise fest auf der Leiterplatte verlötet und mit Verbindungsleitungen versehen. Ähnlich verfährt man mit Lampenfassungen, Relais u. ä. Bauelementen. Für den Anschluß von Batterien haben sich Adapterschnüre bewährt. Die Anschlüsse der Adapterschnüre für die Batterieseite hat man aus verbrauchten Batterien gewonnen. Anregungen sind Bild 2.15 zu entnehmen.

2.6. Leiterplatten

Verlaufen die Versuche für eine Schaltung erfolgreich, und es besteht der Wunsch, die Schaltung fest aufzubauen, eignen sich dafür

Leiterplatten am besten. Dazu bieten sich im Prinzip 3 Möglichkeiten an:

a – Man verwendet Universalleiterplatten, die mit den verschiedenartigsten Leitungsmustern angeboten werden. Das Sortiment ist zeitbedingt unterschiedlich. Bewährt haben sich Streifenleiterplatten, die Nummern 3116, 3117 für Transistorschaltungen, 13401 und EXP20 für Schaltkreisanwendungen. Diese Universalleiterplatten haben den Vorteil, daß sie bereits alle gebohrt sind. Für kleinere Baugruppen und Geräte kann man sie auf die gewünschte Größe zuschneiden.

b – Für die bereits erprobte Schaltung wird eine spezielle Leiterplatte vorgesehen. Diese Leiterplatte ist dann eine Einzelfertigung und selbst herzustellen. Auf die Beschreibung der Technologie zum Entwerfen und Herstellen von Leiterplatten wird aus Platzgründen verzichtet. Eine genaue Anleitung findet der Leser in [16]. Zu diesen speziellen Leiterplatten gehören auch die des »Amateurelektronik«-Systems nach [17].

c – In letzter Zeit setzt sich die Verwendung von Abreibefolien immer stärker durch. Auch für diese Broschüre ist eine Abreibefolie im Angebot. Es sind Leitungsmuster sowohl für Universalleiterplatten als auch spezielle Leiterplatten auf der Abreibefolie (»ty-

Tabelle 2.3. typofix-electronic-Folie

Bezeichnung	Inhalt	Format	Preis (1979)
typofix-electronic-universal			
1837/1	Leiterzüge, Lötaugen	A4	2,35
1837/2	gerade Leiterzüge,	A4	2,35
1837/3	unterschiedlicher Breite und Länge, gewinkelte Leiterzüge	A4	2,35
1837/4	Lötflächen	A4	2,35
1837/5	Schaltkreisanschlüsse	A4	2,35
typofix-electronic-spezial			
2369	Digital-Mosaik II Bauplan 37	A5	1,65
2432	Spiele mit Schall (Miniorgel, Melodiegenerator) Bauplan 38	A5	1,65
2558	Wechselsprechanlage mit IS *A211* Bauplan 39	A5	1,65

pofix-electronic-spezial«) vorhanden. Ferner gibt es Abreibefolien mit Elementen zum Schaltungsentwurf, wie Leiterzüge, Lötaugen, Schaltkreis- und Transistorfassungen (»typofix-electronic-universal«), so daß mit Hilfe dieser Elemente schnell und vorteilhaft eigene Leiterplattenentwürfe realisiert werden können (Tabelle 2.3.). Diese Reihen werden fortgesetzt. Interessenten wenden sich an die RFT-Amateurfilialen Berlin, Erfurt, Leipzig und Schwerin sowie an den Konsum-Elektronik-Versand, 7264 Wermsdorf, Clara-Zetkin-Straße 21. Der Betrag für die gewünschten Abreibefolien plus –,40 M Porto ist per Postanweisung einzuzahlen. Die Bestellangaben sind auf dem schmalen Abschnitt der Postanweisung einzutragen, den der Empfänger erhält. Das gilt auch für die Abreibefolie zu dieser Broschüre.

2.6.1. Leiterplattenanfertigung

Die Abreibefolie für diese Broschüre enthält folgende Leitungsmuster: Bild 2.16a ist für einfache Schaltungen und die Verwendung von Transistoren vorgesehen. Für umfangreichere Transistorschaltungen eignet sich die Universalleiterplatte nach Bild 2.16b. Werden im Aufbau von Schaltungen eigene Entwürfe entwickelt, so können diese mit der Streifenleiterplatte (Bild 2.16c) oder mit der Gitternetzplatte (Bild 2.16d) realisiert werden. Dazu sind die Leiterbahnen an den erforderlichen Stellen bereits beim Abreiben aufzutrennen. Außerdem lassen sich diese Leiterbahnen an die Bahnen der anderen Leiterplatten anlegen. Dadurch entstehen neue Varianten von Leiterplatten und somit auch neue Aufbaumöglichkeiten. Für integrierte Schaltungen sind die Leiterplatten in Bild 2.16e (digitale und analoge IS) und in Bild 2.16f (KME-3-Bausteine) vorgesehen.
Bei sorgfältiger und sauberer Arbeit ist die Anfertigung dieser Leiterplatten einfacher als vielfach angenommen wird. Ruhiges und gründliches Arbeiten sichert ein gutes Ergebnis. Dem Anfänger sei empfohlen, diese Technik zunächst zu üben. Die dabei gesammelten Erfahrungen sind von unschätzbarem Wert.
Man geht wie folgt vor:
- Zuschneiden des kupferkaschierten Materials auf die gewünschte Größe.
- Gründliche Reinigung des Materials, reichlich spülen und trockenreiben.
- Gewünschtes Foliestück ausschneiden.
- Folie auf die Kupferseite legen.

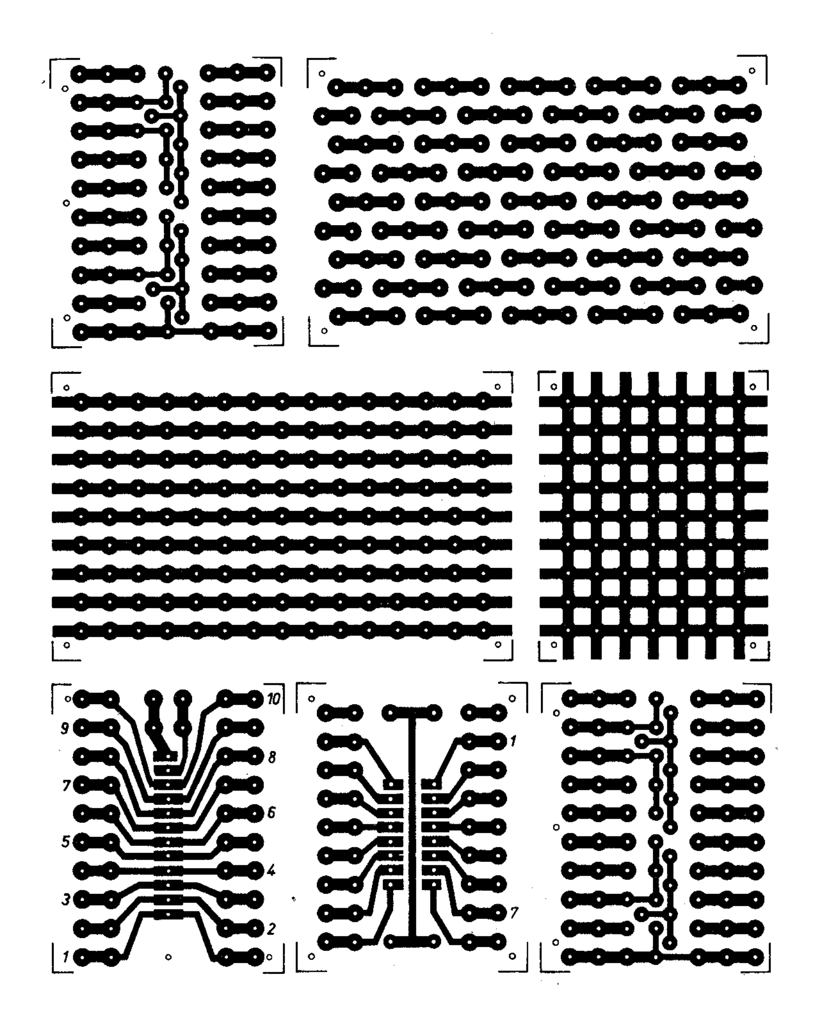


Bild 2.16 Leiterplattenmuster der Abreibefolie typofix-electronic-spezial für diese Broschüre;
a – Transistorleiterplatte, b – Universalleiterplatte für Transistoranwendung, c – Streifenleiterplatte, d – Gitternetzleiterplatte, e – Leiterplatte für digitale und analoge IS, f – Leiterplatte für KME-3-Schaltkreise (von links oben nach rechts unten)

- Folie am linken Rand mit Klebestreifen befestigen.
- Folie von links nach rechts auf die Kupferfläche leicht andrükken.
- Auf die Bildung von Blasen und Wellen achten, diese unbedingt vermeiden.
- Mit dem Abreiben ebenfalls links beginnen und Risse vermeiden.
- Zum Abreiben alten Kugelschreiber oder nicht zu spitzen Bleistift verwenden.
- Abschließend auf die Platte übertragene Leiterzüge noch einmal fest andrücken.
- Sollten trotzdem noch Risse entstanden sein, diese mit Leiterbahnen überreiben und flicken.

Zum Ätzen eignet sich am besten der Ätzsatz des VEB *Elektrophysikalischen Werkes* Neuruppin. Dieser Ätzsatz enthält Eisen-(III)-chlorid, Abdecklack und eine genaue Gebrauchsanleitung. Steht dieser Ätzsatz nicht zur Verfügung, wird Eisen-(III)-chlorid verwendet. In diesem Fall rechnet man 450 g Eisen-(III)-chlorid auf 1 Liter Wasser. Die Ätzlösung darf nicht in metallischen Gefäßen angesetzt werden. Ferner ist die beim Ansetzen entstehende Lösungswärme zu beachten. Die Ätzlösung wird zum Ätzen der Leiterplatte in eine flache Schale (Entwicklerschale für Fotozwecke) gegossen. Die Leiterplatte legt man mit der Leiterseite nach oben in die Ätzlösung. Während des Ätzvorgangs sollte die Leiterplatte bewegt werden, damit sich keine Ablagerungen auf der Leiterplatte bilden. Die Dauer des Ätzvorgangs hängt von der Konzentration der Ätzlösung ab. Wenn alle Reste von der Kupferseite verschwunden sind, wird die Platte herausgenommen und gründlich abgespült. Anschließend entfernt man die Bahnen der Abreibefolie mit Nitroverdünnung. Die Platte muß wieder gründlich abgespült und trockengerieben werden. Da die verbleibenden Leiterzüge leicht oxydieren, sind sie mit einem lötfähigen Abdecklack zu versehen. Dafür reicht auch in Spiritus aufgelöstes Kolophonium. Diese Arbeiten sollten mit größter Vorsicht ausgeführt werden, da Eisen-(III)-chlorid stark ätzend ist. Die beim Lösen aufsteigenden Dämpfe sind schädlich. Jetzt kann die Leiterplatte, nachdem nochmals geprüft ist, daß keine Leiterzüge unterbrochen sind, gebohrt und bestückt werden.

3. Elektrotechnische Grundlagen

Die bisherigen Kenntnisse und ihre Erweiterung sollen an Experimenten und Beispielen am Gleichstromkreis zusammengefaßt werden. Beim Gleichstrom spricht man von stationärer elektrischer Strömung, d. h., die auftretenden Größen sind konstant, und es fließt ein zeitlich konstanter Strom. Das ist beim Wechselstrom nicht so, da sich die Größen zeitlich ändern. Man spricht von quasistationärer Strömung, d. h., die Strömung ist nicht wirklich stationär, kann aber zu der Zeit *t* als stationär angesehen werden. Diese Feststellung wird dadurch erhärtet, daß beim Wechselstrom die Augenblickswerte einer periodischen Funktion der Zeit unterliegen, deren arithmetischer Mittelwert Null ist.

Daraus ergeben sich für die Betrachtungen von stationären und quasistationären Strömungen 4 allgemeine Prinzipien:

a – Das **Kontinuitätsprinzip**
besagt, daß die Menge Q der elektrischen Ladungsträger, die zu einem Zeitpunkt t durch einen Querschnitt des Kreises fließen, an jeder Stelle des Kreises konstant ist.

b – Der **Knotenpunktsatz**
besagt, daß die zu einem Knotenpunkt hinfließenden Mengen Q_{zu} gleich der Summe der von diesem Knotenpunkt abfließenden Mengen Q_{ab} ist. Dieses Prinzip beruht auf dem Gesetz von der Erhaltung der Masse. Für die Elektrotechnik hat es *Kirchhoff* formuliert. Es ist als *Knotenpunktsatz* oder 1. *Kirchhoffsches* Gesetz in die Elektrotechnik eingegangen.

c – Der **Maschensatz**
besagt, daß die von der Quelle (z. B. Batterien) gelieferten Energien W_Q gleich der Summe der im Kreis umgesetzten Energien W_S (Verbraucher) ist. Dieses Prinzip beruht auf dem Erhaltungssatz der Energie. Für die Elektrotechnik hat es *Kirchhoff* formuliert. Es ist als *Maschensatz* oder 2. *Kirchhoffsches* Gesetz in die Elektrotechnik eingegangen.

d – Das **Superpostitionsprinzip**
besagt, daß bei Vorhandensein mehrerer Quellen in einem Kreis sich deren Wirkungen überlagern zu einer Gesamtwirkung.

Im weiteren wird auf diese Prinzipien eingegangen. Es ist ratsam,

auch einfache Zusammenhänge nochmals im Experiment zu erproben, so daß mit diesem Abschnitt bereits das Experimentieren beginnt.

3.1. Gleichstromkreis

Der Gleichstromkreis besteht aus einer Quelle Q, die als Spannungsquelle mit der Spannung U, technisch als Batterie (Netzteil), vorhanden sein muß. Eine Verbindungsleitung führt zur Senke S, die als Verbraucher oder Widerstand R, oft auch als Lastwiderstand R_L oder Verbraucherwiderstand, Vorwiderstand R_V bezeichnet, technisch als Glühlampe, Motor oder Elektrogerät vorhanden sein muß. Eine weitere Verbindungsleitung, im folgenden kurz Leitung genannt, führt zur Spannungsquelle zurück.

In der Spannungsquelle wird nichtelektrische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Da der Elektronenstrom ein endloses Band darstellt, haben die Elektronen auch in der Spannungsquelle einen Widerstand zu überwinden. Diesen Widerstand nennt man den inneren Widerstand R_i. Der Verbraucher wandelt die elektrische Energie wieder in nichtelektrische Energie um.

Dieses endlose Band von fließenden Ladungsträgern, den Elektronen, durch den Kreis bezeichnet man als elektrischen Strom. Der Elektronenstrom fließt vom negativen Pol der Spannungsquelle über den Verbraucher zum positiven Pol der Spannungsquelle. Diese Stromrichtung wird Elektronenstromrichtung genannt. Bevor die Elektronenstromrichtung experimentell nachgewiesen und erforscht war, legte man die Stromrichtung willkürlich von Plus nach Minus fest. Diese Stromrichtung nennt man technische Stromrichtung. Beim Literaturstudium ist daher zu beachten, von welcher Stromrichtung der Autor in seinen Betrachtungen ausgeht.

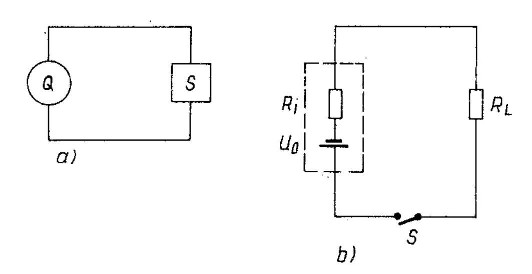


Bild 3.1
Stromkreis;
a – Strömungskreis, allgemein, b – Gleichstromkreis

Wird der Stromkreis an einer Stelle unterbrochen, so fließt kein Strom mehr. Der Unterbrecher S kann durch verschiedenartige Schalter, Taster oder Relaiskontakte realisiert werden. Bild 3.1a ist auch für allgemeine Betrachtungen in der Elektrotechnik von Bedeutung. Man kann mit dieser Darstellung von allen konkreten Fakten abstrahieren und prinzipielle Lösungen suchen. Mit dem Lesen von Schaltungen und Schaltungsanalysen kann nicht früh genug begonnen werden. Alle Teilschaltungen lassen sich auf Bild 3.1 zurückführen.

Beispiel

Welche Stromkreise sind in Bild 3.2 erkennbar?

Bild 3.2 ist der Fachliteratur [18] entnommen und eignet sich zum Üben des Erkennens von Stromkreisen. Es stellt einen 1stufigen Verstärker, bestehend aus der Spannungsquelle U_b, der Signalquelle U_S mit ihrem Innenwiderstand R_s, einem npn-Transistor, dem Basiswiderstand R_B und dem Lastwiderstand, R_L dar.

Zunächst ist einfach zu erkennen, daß ein Stromkreis von der Signalquelle zur Basis des Transistors über den Emitter zurück zur Signalquelle führt.

Ein weiterer ergibt sich beginnend beim Pluspol der Spannungsquelle über R_B und Basis-Emitter zur Spannungsquelle zurück (Stromrichtung des Autors beachten).

Schließlich bleibt der Stromkreis für den Lastwiderstand, beginnend bei $+U_b$ über R_L und Kollektor-Emitter nach $-U_b$.

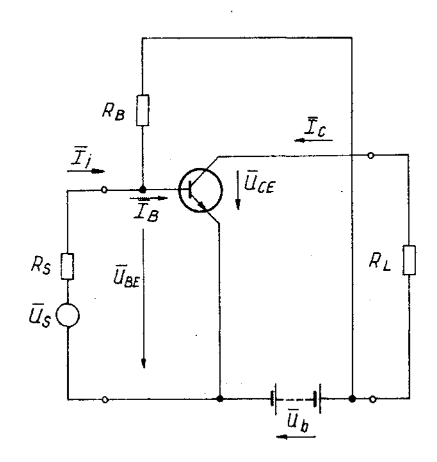


Bild 3.2
Stromkreise in einem 1stufigen Verstärker

3.2. Ohmsches Gesetz

Stromstärke, Spannung und Widerstand stehen im Stromkreis in einem bestimmten Zusammenhang miteinander. Dieser Zusammenhang wurde von *G. S. Ohm* entdeckt und ihm zu Ehren das *Ohmsche* Gesetz genannt. Es lautet:

$$\frac{U}{I} = R = \text{constant} \tag{3.1}$$

und besagt zunächst nichts weiter, als daß bei konstanter Temperatur der Widerstand unabhängig von Stromstärke und Spannung ist. Mit anderen Worten: In einem metallischen Leiter ist bei konstanter Temperatur die Stromstärke der Spannung proportional und der Widerstand konstant.
Die aus diesem physikalischen Zusammenhang abgeleitete Gleichung

$$R = \frac{U}{I} \tag{3.2}$$

wird oft fälschlicherweise als *Ohmsches* Gesetz bezeichnet. Mit ihr kann jedoch, wenn 2 Größen bekannt sind, die dritte berechnet werden:

$$I = \frac{U}{R} \tag{3.3}$$

$$U = RI. \tag{3.4}$$

3.2.1. Widerstand

Als Widerstand R bezeichnet man die Eigenschaft eines Stoffes, den Strom nicht ungehindert hindurchzulassen. So setzt der Glühfaden in der Glühlampe dem elektrischen Strom einen so hohen Widerstand entgegen, daß der Glühfaden hell leuchtet. Der Widerstand ist abhängig von

– dem Material, dem spezifischen Widerstand ϱ,
– der Länge des Drahtes und
– dem Querschnitt des Drahtes.

Damit errechnet sich die Größe eines Widerstands aus den Materialeigenschaften nach

$$R = \frac{\varrho \cdot l}{A}. \tag{3.5}$$

Man erhält R in Ω, wenn der spezifische Widerstand ϱ in $\Omega \, mm^2 \, m^{-1}$, die Länge des Drahtes l in m und der Drahtquerschnitt A in mm^2 eingesetzt wird.

Beispiel

Auf dem Experimentierbrett werden insgesamt 30 cm Kupferdraht von 0,3 mm Durchmesser für die Schaltung verwendet. Welchen Widerstand weist die Leitung auf?

$$\varrho_{Cu} = 0{,}0175 \, \Omega \, mm^2 \, m^{-1}$$

$$l = 0{,}3 \, m$$

$$d = 0{,}3 \, mm$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 0{,}3^2 \, mm^2$$

$$A = 0{,}07 \, mm^2$$

$$R = \frac{\varrho \cdot l}{A}$$

$$R = \frac{0{,}0175 \, \Omega \, mm^2 \, m^{-1} \cdot 0{,}3 \, m}{0{,}07 \, mm^2}$$

$$R = 0{,}075 \, \Omega.$$

Der Widerstand liegt weit unter der Toleranz von Bauelementen (vergleiche dazu Abschnitt 2.3.) und kann für den Versuch als nicht wirksam betrachtet werden.
Der Begriff Widerstand wird auch im Sinne von Bauelement gebraucht. Die Einheit des Widerstands R ist das Ohm [Ω]. Für alle nachfolgend genannten Maßeinheiten, ihre Vielfachen und Teile vergleiche Bild 1.8.

3.2.2. Stromstärke

Als Stromstärke bezeichnet man die Ladungsmenge Q der Elektronen, die zu einer bestimmten Zeit T durch den Querschnitt des Leiters fließen:

$$I = \frac{Q}{t}. \qquad (3.6)$$

Die Stromstärke ist nach Gleichung (3.3) abhängig vom Widerstand und von der Spannung.
Bei gleichbleibender Spannung nimmt die Stromstärke mit größer werdendem Widerstand ab. Wird der Widerstand verkleinert, so vergrößert sich die Stromstärke.
Bleibt aber der Widerstand gleich, so erhöht sich die Stromstärke, wenn die Spannung erhöht wird. Umgekehrt verringert sich die Stromstärke, wenn man die Spannung verkleinert. Die Einheit der Stromstärke I ist das Ampere [A].

3.2.3. Spannung

Als Spannung U bezeichnet man die Potentialdifferenz, die zwischen 2 Punkten ϱ_1 und ϱ_2 im Stromkreis besteht. Am Minuspol einer Batterie befindet sich ein Elektronenüberschuß, am Pluspol ein Elektronenmangel. Zwischen diesen beiden Polen ist eine Potentialdifferenz vorhanden, die Spannung.
Eine Potentialdifferenz entsteht auch am stromdurchflossenen Widerstand. Da die Ladungsträger an den Widerstand Energie abgeben, elektrische Energie wird in Wärme umgewandelt, muß vor Eintritt des Stroms in den Widerstand eine höhere Spannung vorhanden sein als nachher. Man baut ja deshalb auch den Widerstand in Schaltungen ein, wenn man die Spannung herabsetzen will.

Beispiel

Eine Glühlampe 3,8 V/0,07 A soll aus einer 9-V-Batterie gespeist werden. Wie groß muß der Vorwiderstand sein?
Die Ausgangsspannung beträgt 9 V. Es werden aber nur 3,8 V benötigt. Am Vorwiderstand muß daher eine Potentialdifferenz von

$$U = \varrho_A - \varrho_a \tag{3.7}$$

zwischen den Punkten A und B auftreten.

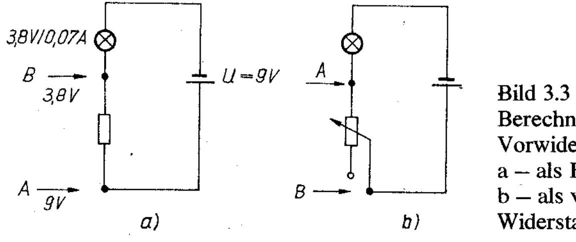


Bild 3.3
Berechnung eines Vorwiderstands;
a – als Festwiderstand,
b – als veränderlicher Widerstand

Diese Potentialdifferenz beträgt

$$U = 9\,\mathrm{V} - 3{,}8\,\mathrm{V},$$
$$U = 5{,}2\,\mathrm{V}.$$

Nach Gleichung (3.2) ergibt sich der Vorwiderstand:

$$R = \frac{5{,}2\,\mathrm{V}}{0{,}07\,\mathrm{A}},$$
$$R = 74{,}3\,\Omega.$$

Jetzt liegen am Punkt B (Bild 3.3a) 3,8 V, die über die Punkte A und B gemessen werden können.
Zum praktischen Nachweis auf dem Experimentierbrett EB 1 wird wahrscheinlich der passende Widerstand nicht auf Anhieb vorhanden sein. Da es hier wie im folgenden immer um die prinzipiellen Zusammenhänge geht, versucht man, das Experiment aus vorhandenen Bauelementen nachzugestalten, etwa mit 13,5 V, das sind 3 in Reihe geschaltete 4,5-V-Flachbatterien *3 R 12*, eine Glühlampe 3,8 V/0,07 A und ein Widerstand von etwa 140 bis 160 Ω. Der Versuch kann noch interessanter gestaltet werden, wenn man als Vorwiderstand ein Potentiometer nimmt und der vorher errechnete Widerstandswert eingestellt wird (Bild 3.3b).

Beispiel

In einer Meßschaltung soll im Punkt A der Basis des Transistors ein Strom von 25 μA zugeführt werden. Die Batteriespannung beträgt $U_{batt} = 4{,}5\,\mathrm{V}$. Welcher Widerstand ist erforderlich?
Hier bleibt im Unterschied zum vorherigen Beispiel die Spannung bestehen. Die Stromstärke wird mit 25 μA vorgegeben. Daraus ergibt sich für den Punkt A:

$$R = \frac{U}{I},$$

$$R = \frac{4{,}5\,\mathrm{V}}{25 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{A}},$$

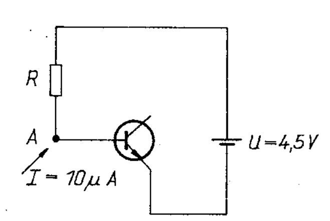


Bild 3.4
Zur Berechnung eines Widerstands

$$R = 180\,000\,\Omega,$$
$$R = 180\,k\Omega.$$

Da sich kein weiterer Widerstand im Stromkreis befindet, denn die Basis-Emitter-Diode ist in Durchlaßrichtung geschaltet, liegen über AB 4,5 V. Nach Gleichung (3.4) ist

$$U = RI,$$
$$U = 180 \cdot 10^3\,\Omega \cdot 25 \cdot 10^{-6}\,\text{A},$$
$$U = 4{,}5\,\text{V}.$$

Die Einheit der Spannung U ist das Volt [V].

3.3. Widerstand, Kondensator und Spule im Stromkreis

Diese Bauelemente haben im Stromkreis ein bestimmtes Verhalten, das für die Schaltungspraxis ausgenutzt wird. Es ist nicht gleichgültig, ob sich diese Bauelemente in einem Gleichstromkreis oder Wechselstromkreis befinden.

3.3.1. Widerstand

Aus dem EB 2 nach Bild 3.3 wird zunächst eine Gleichspannung von 9 V, anschließend eine Wechselspannung von 9 V entnommen, so daß einmal ein Gleichstrom und dann ein Wechselstrom durch den Stromkreis fließt. Der Widerstand ändert dabei sein Verhalten nicht.
Der Widerstand wird, wie die vorangegangenen Beispiele zeigen, eingesetzt:
- wenn die vorhandene Spannung zu groß ist und herabgesetzt werden muß,
- wenn eine vorhandene Spannung in Teilspannungen aufgeteilt werden soll und
- wenn eine bestimmte Stromstärke verlangt wird und eingestellt werden muß.

Technische Widerstände wandeln elektrische Energie in Wärmeenergie um. Das kann auch für den praktischen Schaltungsaufbau von Bedeutung sein.

3.3.2. Kondensator

Kondensatoren haben die Eigenschaft, elektrische Ladungen zu speichern. Zwischen den beiden Kondensatorplatten, die gut voneinander isoliert sind, bildet sich ein elektrisches Feld. Dazu ist erforderlich, daß eine Gleichspannung angelegt wird. Bei Elektrolytkondensatoren muß man auf richtige Polung achten.

Beispiel

Auf EB 1 wird die Schaltung nach Bild 3,5 aufgebaut. Beim Schließen des Stromkreises leuchtet die Glühlampe kurz auf. Der Kondensator hat sich aufgeladen. Die Batterie wird entfernt und der Stromkreis entsprechend Bild 3.5b geschlossen. Das Aufleuchten der Glühlampe zeigt jetzt an, daß sich der Kondensator entlädt. Der Kondensator hat beim Aufladen elektrische Energie gespeichert, die er beim Entladen wieder abgibt. Er ist zu einer Spannungsquelle geworden. Kondensatoren entladen sich auch von selbst, wenn sie längere Zeit liegen. Dabei wird allerdings die gespeicherte Energie im Innern des Kondensators in Wärme umgewandelt. Man sollte daher benutzte Kondensatoren immer nach Gebrauch über einen Widerstand entladen.

Da bei Elektrolytkondensatoren immer auf die Polung geachtet werden muß, bei Wechselstrom aber ein ständiger sehr schneller Polwechsel zu verzeichnen ist, eignet sich für den nächsten Versuch nur ein ungepolter Kondensator von mindestens 10 µF.

Beispiel

Wird dieser ungepolte Kondensator von mindestens 10 µF in die Schaltung nach Bild 3.5a an Stelle des Elektrolytkondensators eingebaut und eine Wechselspannung entsprechend Bild 3.5c angelegt,

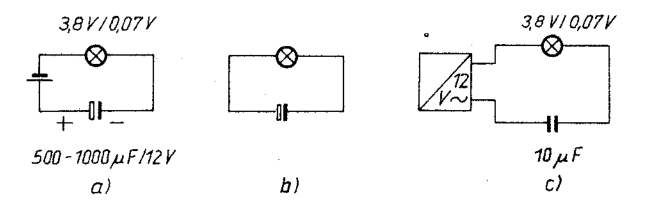


Bild 3.5 Kondensator im Stromkreis;
a — Aufladen, b — Entladen des Kondensators, c — Kondensator im Wechselstromkreis

so leuchtet die Glühlampe ständig, wenn auch etwas schwächer. Sie kann den schnellen Umladungen des Kondensators nicht mehr folgen. Die Umladungen hängen von der Frequenz des Wechselstroms ab. Diese Erscheinung wird um so ausgeprägter, desto höher die Frequenz des Wechselstroms ist. Es wird ein Zustand erreicht, in dem der Kondensator für den Wechselstrom kein Hindernis mehr ist.

Für die praktische Anwendung ergibt sich daraus:

- Ein Kondensator speichert elektrische Ladungen. Er kann daher in Zeitgliedern, in denen man durch die Auf- und Entladezeiten des Kondensators bedingte Schaltzeiten erreichen will, eingesetzt werden.
- Da der Kondensator für Gleichstrom ein großer Widerstand ist, Wechselstrom aber in Abhängigkeit von seiner Kapazität und der Frequenz des Wechselstroms »durchläßt«, eignet er sich zum Trennen von Gleich- und Wechselströmen (gewissermaßen als »elektrische Weiche«).

Die Einheit für die Kapazität C ist das Farad [F].

3.3.3. Spule

Bei den Spulen ist interessant, daß sie sich beim Stromdurchfluß mit einem magnetischen Feld umgeben. Das ist zwar bei jedem stromdurchflossenen Leiter der Fall, aber bei der Spule wird die Stärke des Magnetfelds durch die Windungszahl und den verwendeten Eisenkern, der in die Spule eingeschraubt wird, beeinflußt. Mit dicht beieinanderliegenden Spulen kann man Wechselspannungen übertragen. Das Magnetfeld der einen Spule induziert dann in der anderen Spule ebenfalls eine Wechselspannung. Diese Kombinationen werden Transformatoren oder Übertrager genannt.

Beim Einsatz von Spulen ist zu beachten:

- Die Induktivität einer Spule hängt von der Windungszahl ab. Sie wird mit zunehmender Windungszahl größer. Das spielt bei der Anfertigung von Spulen für HF-Schwingkreise eine Rolle.
- Die Induktivität einer Spule hängt vom Material und von der Größe des Eisenkerns ab.
- Verwendet man Spulen als Übertrager, so verhalten sich ihre Spannungen $U1$ und $U2$ proportional zu den Windungszahlen $N1$ und $N2$.

$$U1 : U2 = N1 : N2 \tag{3.8}$$

– Die Spulen bilden für Wechselstrom einen großen Widerstand. Für Gleichstrom ist ihr Widerstand sehr gering.

Elektrisch verhalten sie sich umgekehrt wie Kondensatoren. Die Einheit für die Induktivität L einer Spule ist das Henry [H].

3.4. Verzweigter Stromkreis

In der Schaltungspraxis treten die Bauelemente in Kombinationen von Reihen- und Parallelschaltungen auf. Das ist bei der Berechnung von Strömen und Spannungen zu berücksichtigen. Man muß sich grundsätzlich vor Beginn der Berechnungen am Schaltungsentwurf davon überzeugen, wie die einzelnen Bauelemente miteinander verknüpft sind.

3.4.1. Knotenpunktsatz von Kirchhoff

Der Knotenpunktsatz lautet:

Die Summe der zu einem Knotenpunkt des Stromkreises hinfließenden Ströme ist gleich der Summe der von diesem Knotenpunkt abfließenden Ströme

$$\sum I_{zu} = \sum I_{ab} \tag{3.9}$$

Gemäß Bild 3.6 fließt der Strom I_0 zum Knotenpunkt und verzweigt sich dort in $I1$, $I2$ und $I3$. Der Strom I_0 ist der zum Knotenpunkt hinfließende Strom. Die Ströme $I1$, $I2$ und $I3$ sind die vom Knotenpunkt abfließenden Ströme. Nach Gleichung (3.9) gilt dann

$$I_0 = I1 + I2 + I3. \tag{3.10}$$

Ordnet man den zufließenden Strömen ein positives Vorzeichen und

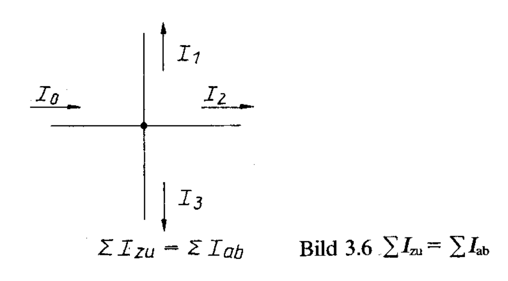


Bild 3.6 $\sum I_{zu} = \sum I_{ab}$

den abfließenden Strömen ein negatives Vorzeichen zu, dann läßt sich der gleiche Zusammenhang mit der Gleichung (3.11.) erfassen.

$$0 = I_0 - I1 - I2 - I3 \qquad (3.11)$$

Das bedeutet, daß die Gesamtsumme aller zu einem Knotenpunkt hin- und abfließenden Ströme bei Beachtung der Vorzeichen Null beträgt.

$$\sum I = 0 \qquad (3.12)$$

3.4.2. Maschensatz von Kirchhoff

Der Maschensatz oder das 2. *Kirchhoffsche* Gesetz lautet:
In einem Stromkreis ist die Summe der Urspannungen gleich der Summe der Spannungsabfälle.
Bezeichnet man die Spannungen an den Spannungsquellen mit U und die Spannungsabfälle nach Gleichung 3.4 mit RI, heißt der Maschensatz in mathematischer Form

$$\sum U = \sum RI. \qquad (3.13)$$

Beispiel

Auf dem Experimentierbrett wird eine Schaltung gemäß Bild 3.7 mit den Bauelementen $R1 = 100\,\Omega$, $R2 = 200\,\Omega$ und der Spannung $U_0 = 4{,}5\,\text{V}$ aufgebaut. Der Gesamtstrom I_0 und die Teilströme $I1$ und $I2$ sind zu ermitteln.
Bevor nach den *Kirchhoffschen* Gesetzen gerechnet wird, sind grundsätzlich vorher die Spannungs- und Stromrichtungspfeile einzutragen, und der Umlaufsinn ist für jede Masche festzulegen.

– Stromrichtungspfeile bei den Spannungsquellen eintragen (technische Stromrichtung).

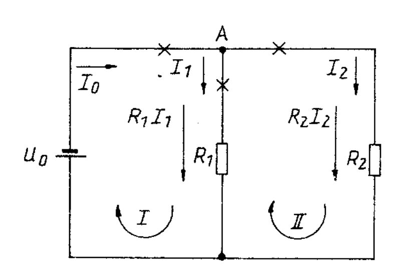


Bild 3.7
Zur Anwendung der *Kirchhoffschen* Gesetze

- Willkürliche Festlegung der Stromrichtungen in den einzelnen Zweigen. Ein negatives Ergebnis in der Berechnung zeigt an, daß der Strom in Wirklichkeit in die entgegengesetzte Richtung fließt. Dieses Minuszeichen hat keinen Einfluß auf den Zahlenwert.
- Spannungsabfälle an den Widerständen erhalten den Richtungspfeil in Richtung des zum Widerstand gehörenden Stromrichtungspfeils.
- Willkürliche Festlegung des Umlaufsinns in jeder Masche.

Beim Aufstellen der Gleichungen nach den *Kirchhoffschen* Gesetzen geht man im Sinne des Umlaufpfeils in jeder Masche vor. Jeder Spannungspfeil, der dieser Richtung entgegensteht, erhält ein negatives Vorzeichen; jeder Spannungspfeil, der mit der Maschenumlaufrichtung übereinstimmt, erhält ein positives Vorzeichen.

Beachtet man diese Regeln, so ergibt sich nach dem Knotenpunktsatz im Punkt A

$$0 = I_0 - I1 - I2.$$

Nach dem Maschensatz für Masche I

$$0 = -U_0 + R1\,I1$$

und Masche II

$$0 = -R1\,I1 + R2\,I2.$$

Zur Übung wird mit Determinanten gerechnet (vergleiche auch Abschnitt 1.1.3.). Es sei gleich hier bemerkt, daß die in Abschnitt 3.4.4. gezeigte Vereinfachung von den vorliegenden Verhältnissen abhängig ist. Zur Ermittlung der Determinante schreibt man die Gleichungen als Gleichungssystem und eliminiert alle bekannten Größen (U_0), so daß die Variablen (I) mit ihren Koeffizienten (R) für sich stehen.

$$\begin{aligned} 0 &= I_0 - I1 - I2, \\ U_0 &= \quad R1\,I1 \\ 0 &= \quad -R1\,I1 + R2\,I2, \end{aligned}$$

---

daraus die Koeffizientendeterminante

$$D = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 0 & R1 & 0 \\ 0 & -R1 & +R2 \end{vmatrix},$$

$$D = -R1\,R2,$$

mit Minus als Anzeige für falsch gewählte Stromrichtung, Vorzeichen weglassen und Werte einsetzen:

$$D = 100 \cdot 200,$$
$$D = 20\,000.$$

Determinante für I_0 ist

$$D_{I_0} = \begin{vmatrix} 0 & -1 & -1 \\ U_0 & R1 & 0 \\ 0 & -R1 & +R2 \end{vmatrix},$$

$$D_{I_0} = U_0(R1 + R2),$$
$$D_{I_0} = 1\,350.$$

$$I_0 = \frac{D_{I_0}}{D},$$

$$I_0 = \frac{1\,350}{20\,000},$$

$$I_0 = 0{,}067\,\mathrm{A}.$$

Teilstrom $I1$:

$$D_{I1} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & U_0 & 0 \\ 0 & 0 & +R2 \end{vmatrix},$$

$$D_{I1} = U_0 R2,$$
$$D_{I1} = 900.$$

$$I1 = \frac{D_{I1}}{D},$$

$$I1 = \frac{900}{20\,000},$$

$$I1 = 0{,}045\,\mathrm{A}.$$

Teilstrom $I2$:

$$D_{I2} = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & R1 & U_0 \\ 0 & -R1 & 0 \end{vmatrix},$$

$$D_{I2} = U_0 R1,$$
$$D_{I2} = 450.$$

$$I2 = \frac{D_{I2}}{D},$$

$$I2 = \frac{450}{20000},$$

$$I2 = 0{,}022\,A.$$

Zur Probe: Nach dem Knotenpunktsatz gilt:

$$I_0 = I1 + I2.$$
$$0{,}067\,\text{A} = 0{,}045\,\text{A} + 0{,}022\,\text{A}.$$
$$0{,}067\,\text{A} = 0{,}067\,\text{A}.$$

Ferner läßt sich beim Auftrennen der Leitungen an den mit x gekennzeichneten Stellen die Stromstärke messen. Dabei muß auf die richtige Polung des Meßinstruments geachtet werden. Mag dieses Beispiel auch ein bißchen wie Zahlenspielerei anmuten, so stelle der Leser mit Hilfe der *Kirchhoffschen* Regeln nach Bild 3.2 folgende Beziehungen auf [18]:

$$\bar{U}_b = R_L \bar{I}_C + \bar{U}_{CE}, \tag{3.14}$$

$$U_b = R_B(\bar{I}_B - \bar{I}_i) + U_{BE}, \tag{3.15}$$

$$\bar{U}_S = R_S \bar{I}_1 + \bar{U}_{BE}. \tag{3.16}$$

3.4.3. Reihenschaltung von Widerständen, Kondensatoren und Spulen

Werden Bauelemente nacheinander im Stromkreis vom Strom durchflossen, dann sind sie in Reihe geschaltet. Es lassen sich dann für gleichartige Bauelemente Gesamt- oder Ersatzwerte angeben.

Beispiel

Wie groß ist der Gesamtwiderstand von 2 in Reihe geschalteten Widerständen $R1 = 100\,\Omega$ und $R2 = 200\,\Omega$?
Man mißt $300\,\Omega$, also $R1 + R2$. Für Bild 3.8 gilt

$$U1 : U2 = R1 : R2. \tag{3.17}$$

Das ist die Spannungsteilerregel, die besagt, daß sich die Spannungen wie die zugehörigen Widerstände verhalten. Da es sich um einen

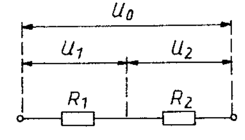


Bild 3.8
Reihenschaltung

unverzweigten Stromkreis handelt, ist die Stromstärke an allen Stellen des Kreises gleich groß. Die Ersatzgrößen werden nach folgenden Formeln ermittelt:

$$R_{Ers} = R1 + R2 + \ldots R_n, \tag{3.18}$$

$$L_{Ers} = L1 + L2 + \ldots L_n, \tag{3.19}$$

$$C_{Ers} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \ldots \frac{1}{C_n}. \tag{3.20}$$

Dabei ist R_{Ers} stets größer als einer der Teilwiderstände, die gleichen Verhältnisse liegen bei L_{Ers} vor. C_{Ers} ist kleiner als die kleinste Teilkapazität.

3.4.4. Parallelschaltung von Widerständen, Kondensatoren und Spulen

Bei Parallelschaltungen treten im Unterschied zur Reihenschaltung Teilströme auf. Schaltet man die beiden Widerstände nach Bild 3.8 parallel, so erhält man die Schaltung nach Bild 3.9.

Beispiel

Nach Bild 3.9 ist R_{Ers} mit $R1 = 100\,\Omega$ und $R2 = 200\,\Omega$ zu ermitteln. Die Messung ergibt etwa $67\,\Omega$. R_{Ers} ist also kleiner als der kleinste Teilwiderstand.

Mathematisch wird R_{Ers} ermittelt nach

$$\frac{1}{R_{Ers}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}, \tag{3.21}$$

$$\frac{1}{R_{Ers}} = \frac{1}{100\,\Omega} + \frac{1}{200\,\Omega},$$

$$\frac{1}{R_{Ers}} = \frac{3}{200\,\Omega},$$

$$R_{Ers} = 66{,}7\,\Omega.$$

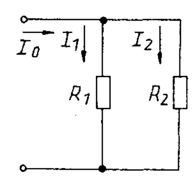


Bild 3.9
Parallelschaltung

Es gilt die Stromteilerregel

$$I1 : I2 = R2 : R1. \qquad (3.22)$$

Die Teilstromstärken verhalten sich umgekehrt proportional zu ihren Teilwiderständen.

Die Ersatzwerte errechnen sich zu:

$$\frac{1}{R_{Ers}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \ldots + \frac{1}{R_n}, \qquad (3.23)$$

$$\frac{1}{L_{Ers}} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \ldots + \frac{1}{L_n}, \qquad (3.24)$$

$$C_{Ers} = C1 + C2 + \ldots + C_n. \qquad (3.25)$$

3.4.5. Ersatzschaltungen

Mit Hilfe dieser Beziehungen kann man komplizierte Schaltungen vereinfachen und umzeichnen. Dabei verringert sich die Anzahl der Maschen und Zweige. Es entstehen weniger Teilstromkreise. Die Rechnung wird einfacher, obwohl mit den beiden *Kirchhoffschen* Gesetzen und dem *Ohmschen* Gesetz prinzipiell jede Schaltung berechnet werden kann. Liegt dem Abschnitt 3.4.3. der Maschensatz zugrunde, so ist es in Abschnitt 3.3.3. der Knotenpunktsatz.

Das folgende Beispiel zeigt das schrittweise Vorgehen beim Berechnen eines Ersatzwiderstands nach Bild 3.10.

$$R_{1,2} = R1 + R2,$$

$$\frac{1}{R_{3,4,5}} = \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} + \frac{1}{R5},$$

$$R6 = R6,$$

daraus ergibt sich

$$R_{Ers} = R_{1,2} + \frac{1}{R_{3,4,5}} + R_6.$$

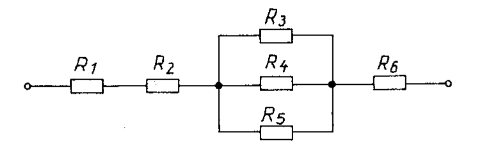


Bild 3.10
Gemischte Schaltung

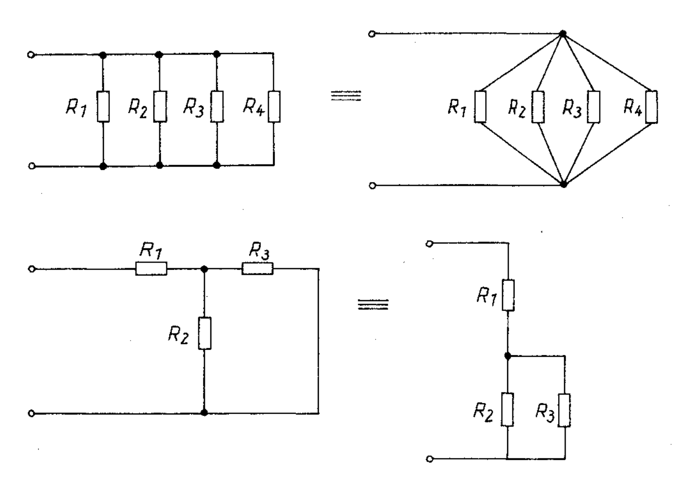


Bild 3.11 Umzeichnen von Schaltungen;
a – Parallelschaltung, b – gemischte Schaltung

Die 3 Knoten (Bild 3.11a) können zu 1 Knoten zusammengefaßt werden und ergeben im Schaltungsaufbau 1 Lötstelle, da sich keine weiteren Widerstände in den betrachteten Zweigen befinden.
Nach Bild 3.11b liegen $R1$ und $R2$ in Reihe, bilden also einen Spannungsteiler, und $R3$ liegt parallel zu $R2$, so daß der Strom über dem Widerstand mit der Spannung $U2$ geteilt wird. Für die Parallelschaltung von Bauelementen wird in der Fachliteratur oft das Zeichen $\|$ verwendet, man erhält dann für R_{Ers}:

$$R_{Ers} = R1 + R2 + R3 \| R4 \| R5 + R6.$$

Das gilt auch analog für Spulen und Kondensatoren.
Unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge kann Bild 3.7 vereinfacht werden. Aus $R1$ und $R2$ wird R_{Ers} mit 66,7 Ω gebildet (Gleichung 3.21). Nach dem *Ohmschen* Gesetz läßt sich mit Gleichung 3.3) die Gesamtstromstärke ermitteln.

Beispiel

$$I_0 = \frac{U_0}{R_{Ers}},$$

$$I_0 = \frac{4{,}5\,\text{V}}{66{,}7\,\Omega},$$

$$I_0 = 0{,}067\,\mathrm{A}.$$

$$I1 = \frac{U_0}{R1},$$

$$I1 = \frac{4{,}5\,\mathrm{V}}{100\,\Omega},$$

$$I1 = 0{,}045\,\mathrm{A}.$$

$$I2 = \frac{U_0}{R2},$$

$$I2 = \frac{4{,}5\,\mathrm{V}}{200\,\Omega},$$

$$I2 = 0{,}022\,\mathrm{A}.$$

Die zueinander gehörenden Größen müssen immer miteinander in Beziehung gesetzt werden.

3.5. Leistung

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Elektronen beim Durchfließen eines Widerstands Energie abgeben und Wärme erzeugt wird.
Die Leistung ermittelt man im Gleichstromkreis nach

$$P = UI. \qquad (3.26)$$

Da das *Ohmsche* Gesetz gilt, können nacheinander U und I eliminiert werden, und die Leistung läßt sich mit Hilfe von R berechnen.

$$P = RI^2 \qquad (3.27)$$

$$P = \frac{U^2}{R}. \qquad (3.28)$$

Die Einheit der Leistung ist 1 Watt (W).

Beispiel
Für welche Leistung muß der Widerstand $R1 = 100\,\Omega$ mit $U_0 = 4{,}5\,\mathrm{V}$ (Bild 3.7) bemessen sein?

$$P = \frac{U^2}{R},$$

$$P = \frac{4{,}5^2\,V^2}{100\,\Omega},$$

$$P = 0{,}2\,W,$$

also für $^1/_2$ Watt.
Für die Umrechnung von V^2/Ω benutze man Bild 1.8.

3.6. Anwendungen

3.6.1. Einfache Signalübertragung

Auf der Grundlage der bisher erläuterten Gesetze und Beispiele lassen sich einfache Geräte zur Signalübertragung konstruieren und bauen. Es handelt sich dabei grundsätzlich um drahtgebundene Geräte. Die drahtlose Übertragung von Signalen ist genehmigungspflichtig. Für den Anfänger reichen aber die drahtgebundenen Geräte aus, zumal sich mit ihnen der Funkbetrieb nachgestalten läßt. Solche Geräte sind in vereinfachter Form *blinka, summi* und *Fuko 1,* die vom Autor in [13] beschrieben wurden. Sie eignen sich auf der Grundlage der Schaltungstechnik von einfachen und verzweigten Stromkreisen zur Verständigung mit Licht- und akustischen Signalen. Der *Fuko 3* (Funkkoffer 3) erweitert diese Geräte. Mit ihm kann ein codierter Fernschreibverkehr simuliert werden.
Mit dem Umschalter S7 (Bild 3.12) schaltet die sendende Station auf S, die empfangende Station auf E. Bei Betätigen einer der Schalter S1 bis S6 leuchtet in allen angeschlossenen Stationen eine der Zahlen 1 bis 6 auf. Die Glühlampen aller Stationen sind parallelgeschaltet. Man darf keine der Fernleitungen 0 und 1 bis 6 miteinander verwechseln. Das ist auch der einzige Nachteil dieses Geräts. Würde man jedem Buchstaben des Alphabets ein Leuchtfeld zuordnen, dann brauchte man mindestens 26 Verbindungsleitungen.
Der Umschalter ist ein Klingelumschalter in Plastausführung. Als Tastenschalter eignet sich ein Schaltpult für Modelleisenbahnen. Die Fernleitungen können über Buchsen und Bananenstecker oder über eine Lüsterklemmleiste angeschlossen werden. Aufgebaut wird die Schaltung auf einer Sperrholz- oder Hartfaserplatte, die in einen Spielzeugkoffer paßt.
Auf dem Experimentierbrett probiere man mit 3 Glühlampen. Das reicht zur Vorbereitung des Bauens aus.
Zur Verständigung ist eine Codiertabelle erforderlich. Sie kann

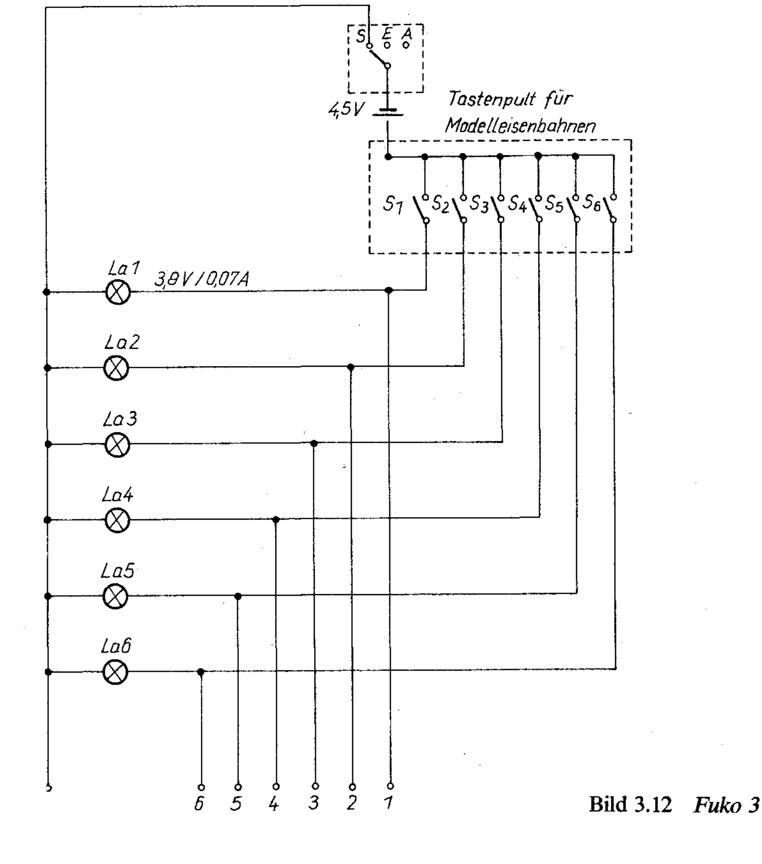


Bild 3.12 *Fuko 3*

entsprechend Bild 3.13 nach eigenen Vorstellungen angefertigt werden. Da nur 6 Zahlen gesendet werden können, stehen nur 36 Felder zur Verfügung. Es muß daher immer in der Reihenfolge »senkrecht, waagerecht« gesendet und entschlüsselt werden, sonst gibt es Vertauschungen.

Beispiel

Es ist das Wort »Funker« zu senden!
13 66 26 25 56 33
Das Gerät kann im Ferienlager, im Manöver »Freundschaft« und bei ähnlichen Veranstaltungen eingesetzt werden.

1. ↓ / 2. →	1	2	3	4	5	6
1	P	A	F	J	M	O
2	V	Q	B	G	K	N
3	1	W	R	C	H	L
4	5	2	X	S	D	I
5	8	6	3	Y	T	E
6	Ø	9	7	4	Z	U

Bild 3.13
Codiertabelle
für *Fuko 3*

Die nächsten beiden Bauanleitungen eignen sich für Arbeitsgemeinschaften. Beide Konstruktionen sind für den Einsatz auf Wissensstraßen und zur Selbstbetätigung während Veranstaltungen gedacht.

3.6.2. »black-box«

Das Wort »black-box« kommt aus dem Englischen und bedeutet wörtlich übersetzt »schwarzer Kasten«. Diese Bezeichnung soll andeuten, daß alles, was in dem schwarzen Kasten vorhanden ist und darin vorgeht, unbekannt ist und »erkundet« werden muß. Unter einer »black-box« versteht man daher ein System, über dessen inneren Aufbau nichts bekannt ist, und nur wenn man bekannte Signale an die Eingänge gibt, kann man aus dem Verhalten des Systems an seinen Ausgängen auf das Innere schließen.
Es wird also zunächst eine Anordnung benötigt, mit der ein Signal erzeugt und an den Eingang der »black-box« gelegt werden kann.

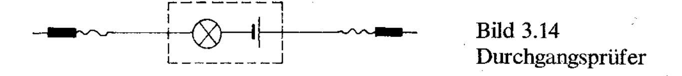


Bild 3.14
Durchgangsprüfer

Dazu eignet sich ein Durchgangsprüfer etwa nach dem System eines »Prüf-Fix« (Bild 3.14).
Ferner werden mehrere »black-boxes« benötigt, die alle verschiedene Schaltungen und Bauelemente enthalten.
Die Aufgabe besteht darin, mit Hilfe des Durchgangsprüfers ein Eingangssignal an die »black-box« zu legen, die Reaktion an den Ausgängen ebenfalls mit Hilfe des Durchgangsprüfers zu beobachten und dann die vermutliche Schaltung und das Bauelement aufzuzeichnen.
Alles ist so aufbereitet, daß für den Anfang die Kenntnisse über den einfachen Stromkreis und den Widerstand ausreichen. Erweiterungen mit Transistoren und Kondensatoren (auch eine Wechselspannungsquelle kann verwendet werden) sind nach eigenen Vorstellungen möglich.
Jede einzelne »black-box« besteht aus einem Gehäuse, in dem sich die Schaltung befindet. Der Autor hat alte Diakästen aus Holz verwendet. 2 Telefonbuchsen stellen den Eingang, 2 Telefonbuchsen auf der gegenüberliegenden Seite den Ausgang dar (Bild 3.15). Zwischen den sich ergebenden 4 Anschlüssen wird die Verdrahtung oder Schaltung fest eingelötet. Nebenbei sei erwähnt, daß man die Verdrahtung vorher aufzeichnen muß. Sie muß die gleiche Zahl tragen wie die »black-box«. Dadurch schließt man spätere Verwechslungen aus und vermeidet hohen Aufwand bei der Kontrolle der gelösten Aufgaben. Ist die Schaltung eingelötet und nochmals geprüft, dann klebt man den Kasten fest zu. Jetzt beginnt das »Prüfen« oder das »Erkunden des inneren Aufbaus« der »black-box«.
Den Prüfvorgang zeigt Bild 3.16. Aus Durchgangsprüfer und »black-box« wird ein einfacher Stromkreis aufgebaut. Danach schließt man einen Bananenstecker an eine Buchse des Eingangs (1) und den anderen Bananenstecker an eine Buchse des Ausgangs (3) der »black-box« an. Das »Reagieren des Systems«, d.h. ob die Glühlampe leuchtet oder nicht, wird notiert. In diesem Fall wird der Stromkreis aus dem Durchgangsprüfer mit der Spannungsquelle und der Glühlampe und einem dazu in Reihe geschalteten Verbraucher, nämlich der »black-box«, gebildet. Am einfachsten ist es, wenn Buchse 1 und Buchse 3 durch einen Leiter miteinander verbunden sind. Dann leuchtet die Glühlampe. Es müssen aber alle Möglich-

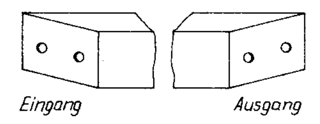


Bild 3.15
black-box

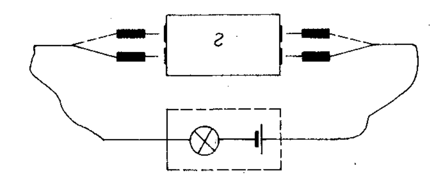


Bild 3.16
Prüfvorgang an der black-box

keiten durchprobiert werden, also Buchse 1 mit Buchse 3, Buchse 1 mit Buchse 4, Buchse 2 mit Buchse 3 und Buchse 2 mit Buchse 4. Da Gleichstrom fließt, ist auch die Umkehrung, das Vertauschen der Pole der Spannungsquelle, sinnvoll, also Buchse 3 mit Buchse 1, Buchse 3 mit Buchse 2, Buchse 4 mit Buchse 1 und Buchse 4 mit Buchse 2. Diese Umkehrung ist beim Suchen nach Gleichrichterstrecken von Bedeutung.
Zum vorgestellten Versuch gehören 4 Schaltungen der »black-box« nach Bild 3.17.
In der »black-box« 1 ist die Buchse 1 mit Buchse 3 verbunden, Buchse 2 und Buchse 4 bleiben frei.
In der »black-box« 2 ist die Buchse 1 mit Buchse 4 und Buchse 2 mit Buchse 3 verbunden. Die Verbindungen 1 bis 4 und 2 bis 3 sind nicht zusammengelötet.
Die »black-box« 3 hat die Verbindungen Buchse 1 mit Buchse 3 und Buchse 2 mit Buchse 4, wobei zwischen Buchse 2 und Buchse 4 ein Widerstand eingelötet ist. Bei der Auswahl dieses Widerstands muß man einiges bedenken.

– Widerstand so auswählen, daß die Glühlampe im Durchgangsprüfer schwach aufleuchtet,
– sicherer optischer Vergleich zwischen den Verbindungen Buchse 1 mit Buchse 3 und Buchse 2 mit Buchse 4 muß möglich sein,

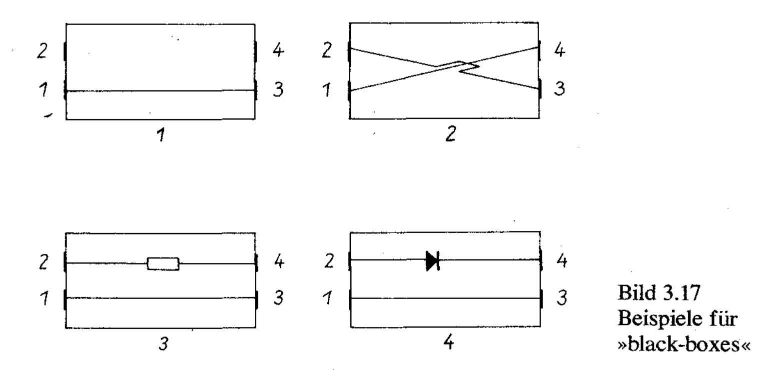


Bild 3.17
Beispiele für »black-boxes«

- beim Prüfen der Verbindung 1 bis 3 leuchtet die Glühlampe hell auf,
- beim Prüfen der Verbindung 2 bis 4 darf die Glühlampe nur schwach aufleuchten,
- der Vergleich muß sicher den Schluß zulassen, daß in dieser »black-box« an dieser Stelle ein Widerstand sein muß.

Würde die Glühlampe beim Prüfen von 2 bis 4 nicht aufleuchten, käme man zu dem Schluß, daß Buchse 2 nicht mit Buchse 4 verbunden sei. Im Versuchsaufbau wurden verwendet:

Batterie:	$U_{Bat} = 4{,}5\,V$
Glühlampe:	3,8 V/0,07 A
Widerstand der Glühlampe:	$R_{Gl} = 54{,}4\,\Omega$.

Diese Schaltung unbedingt auf dem Experimentierbrett EB 1 aufbauen, ausprobieren und Stromlaufplan zeichnen.
Mit einem Widerstand von $R = 100\,\Omega$ fließt ein Strom von

$$I = \frac{U}{R_{Gl} + R},$$

$$I = \frac{4{,}5\,V}{154{,}4\,\Omega},$$

$$I = 0{,}029\,A.$$

Der Spannungsabfall am Widerstand R beträgt dann:

$$U_R = RI,$$

$$U_R = 100\,\Omega \cdot 0{,}029\,A,$$

$$U_R = 2{,}9\,V.$$

Der Spannungsabfall an der Glühlampe beträgt:

$$U_G = R_G I,$$

$$U_G = 54{,}4\,\Omega \cdot 0{,}029\,A,$$

$$U_G = 1{,}6\,V.$$

Zur Kontrolle muß die Summe der Teilspannungen gleich der Batteriespannung sein.

$$U_{Bat} = U_R + U_G$$

$$U_{Bat} = 2{,}9\,V + 1{,}6\,V$$

$$U_{Bat} = 4{,}5\,V.$$

Durch den Verbrauch der Batterie oder das ersatzweise Auswechseln der Glühlampe gegen eine mit anderen Werten verschieben sich diese Ergebnisse. Darum muß mit Bauelementen, die etwa unter oder

über den errechneten Werten liegen, experimentiert werden. Bevor der Widerstand fest eingebaut wird, ist die Leistungsaufnahme nach

$$P = RI^2$$

zu ermitteln.

$$P = 100\,\Omega \cdot 0{,}029^2\,\mathrm{A}^2$$
$$P = 100\,\mathrm{VA}^{-1} \cdot 0{,}841 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{A}^2$$
$$P = 84 \cdot 10^{-3}\,W$$
$$P = 84\,\mathrm{mW}.$$

In der »black-box« 4 sind Buchse 1 mit Buchse 3 und Buchse 2 mit Buchse 4 verbunden. Zwischen Buchse 2 und Buchse 4 ist eine Gleichrichterdiode eingelötet. Man muß den zu sperrenden Strom beachten. Beim Prüfen leuchtet die Glühlampe nur nach Anschließen der Bananenstecker in einer bestimmten Reihenfolge auf.
Es liegt der Gedanke nahe, die »black-box« auszubauen und sie um neue Varianten zu erweitern. Zunächst besteht die Möglichkeit, einen Kondensator oder einen Transistor einzubauen. Man muß dann die spezifischen Eigenschaften dieser Bauelemente beachten. Die »black-box« könnte erst mit Gleichspannung und dann mit Wechselspannung geprüft werden. Man kann auch Niedervolt-Elektrolytkondensatoren einbauen und die Schaltung so berechnen, daß der Entladevorgang an der Glühlampe zu beobachten ist.
Beim Transistor nutzt man die dem Transistor eigenen Gleichrichterstrecken zur Identifizierung aus.
Eine weitere Möglichkeit ergibt sich, wenn zusätzlich die Eingänge unter sich und auch die Ausgänge unter sich überprüft werden. So ist es auch möglich, die Eingangs- oder Ausgangsbuchsen untereinander kurzzuschließen. Auch 3 oder mehr Ein- und Ausgangsbuchsen lassen sich anbringen. Aber hier wird zur Vorsicht geraten. Die Anzahl der Prüfvorgänge wächst dabei sehr schnell an.

3.6.3. Kontaktfoliekarte

Bei der Kontaktfoliekarte arbeitet man nach dem gleichen Prinzip wie bei der black-box. Mit ihr können auch die Anforderungen an das Wissen erhöht werden.
Die Fragen werden den Gebieten Elektro- und Funktechnik entnommen. Es lassen sich auch alle anderen Gebiete wie Mathematik, Physik, Geschichte der DDR, StVO '77 usw. verwenden. Zunächst

$R_1 = R_2 = R_3 = 30\ \Omega$

$R_x = \ \Omega$

1 — R_1 R_2 R_3

2 — R_1 R_2 R_3

3 — R_1 R_2 R_3

4 — R_1 R_2 R_3

60

20

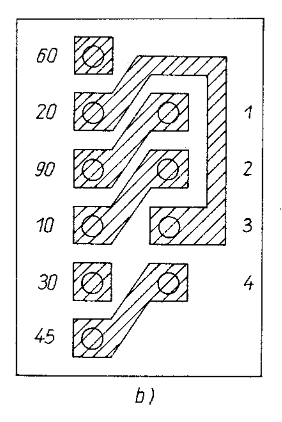
90

10

30

45

a)



b)

Bild 3.18 Kontaktfoliekarte;
a – Vorderseite, b – Rückseite

zeichnet man eine Skizze. Diese Skizze erhält auf der linken Seite die Schaltungen, Aufgaben, Schaltzeichen und vielleicht auch kurze wörtlich ausgearbeitete Fragen. Dazu wird je 1 Loch vorgesehen, das

später mit Kontaktfolie unterlegt wird. Auf der rechten Seite der Skizze stehen die Antworten, aber nicht in der Reihenfolge der Fragen. Auch können es mehr Antworten als Fragen sein. Jeder Antwort ordnet man ebenfalls 1 Loch für die Kontaktfolie zu. Nachdem die Fragen mit ihren Antworten verbunden sind, wird sich herausstellen, ob sich Verbindungswege kreuzen. Ist das der Fall, dann muß diese Verbindung außen herumgelegt werden, oder die sich kreuzenden Kontaktfoliestreifen sind durch ein Stück Papier gegeneinander zu isolieren.
Ist alles berechnet, sind die Antworten überlegt, dann beginnt man mit der Anfertigung in der gleichen Reihenfolge. Für 1 Kontaktfoliekarte benötigt man 2 gleich große Karten im Format A4 oder A5 (Karteikarte, letztes Deckblatt aus dem Zeichen- oder Schreibblock o. ä.). Auf die Vorderseite der ersten Karte zeichnet man die Fragen und Antworten und versieht sie mit Löchern (wie es Bild 3.18 zeigt). Danach wird die Karte umgedreht, so daß die Rückseite der ersten Karte oben liegt. Löcher für Fragen und Antworten sind jetzt seitenvertauscht. Man überträgt von der Skizze die Nummern der Fragen und Antworten auf die Rückseite. Immer daran denken, daß alles seitenvertauscht ist! Mit Strichen die richtigen Antworten mit den Fragen verbinden. Die vorgezeichneten Leitungswege aus Folie kleben (»Silberpapier« von Schokolade, aus Zigarettenpackungen, Haushaltsfolie o. a.). Darauf achten, daß die Löcher nicht mit Klebstoff überdeckt werden. Der Klebstoff isoliert. Antwortlöcher, die nicht zu einer Frage gehören, müssen ebenfalls mit Kontaktfolie hinterlegt werden, damit sie von der Vorderseite aus nicht zu erkennen sind. Bild 3.18b zeigt die Rückseite. Eine Funktionsprobe ist an dieser Stelle angebracht. Funktioniert alles, dann wird die zweite Karte auf die Rückseite der ersten Karte geklebt. Damit sind alle Leiterzüge verdeckt. Zum Abtasten der Ergebnisse wird der bereits beschriebene Durchgangsprüfer nach Bild 3.14 benutzt.

4. Prüfen und Messen

Für den Bau einfacher Baugruppen und Geräte genügt es zu wissen, daß die verwendeten Bauelemente funktionieren. Im Vordergrund stehen Funktionsprüfungen. Das gilt insbesondere für die Halbleiterbauelemente. Einige Widerstands-, Strom- und Spannungsmessungen sind ebenfalls erforderlich.

4.1. Durchgangsprüfer

Der Durchgangsprüfer ist in Abschnitt 3.6.2. beschrieben, und seine Schaltung zeigt Bild 3.14. Der Durchgangsprüfer ist stets an einem stromlosen Gerät anzuschließen. Niemals darf man mit diesem Durchgangsprüfer an das Lichtnetz, also an eine Steckdose gehen!
Der Durchgangsprüfer wird eingesetzt:
- Wenn festgestellt werden soll, ob eine Leitung oder ein Leiterzug auf der Leiterplatte beschädigt ist.
- Wenn ein elektrisches Gerät auf Durchgang geprüft werden soll. Ist z. B. der Glühfaden einer Glühlampe unterbrochen, leuchtet die Signallampe nicht auf.
- Wenn ein Kurzschluß zwischen 2 Leitern vermutet wird, die ursprünglich nicht miteinander verbunden sein sollen.

4.2. Vielfachmesser

Vielfachmesser sind unter dem Namen »Universalmesser« und »Multiprüfer« bekannt. Bei der Anschaffung eines Vielfachmessers ist oft der Preis entscheidend. Trotzdem sollte man auf möglichst viele Meßbereiche und die Kenngröße Ω/V oder kΩ/V achten. Sie ist als Innenwiderstand auf jedem Vielfachmesser angegeben. Verbreitete Innenwiderstände sind 1000 Ω/V und 20 kΩ/V. Je höher der Innenwiderstand ist, desto günstiger läßt sich das Meßgerät einsetzen.
Es ist unerläßlich, vor der Inbetriebnahme eines Meßgeräts dessen technische Daten und die beiliegende Bedienungsanleitung genau zu lesen.

Eine ausführliche Beschreibung der Wirkungsweise und Anwendung von Vielfachmessern findet der Leser in [20].

4.3. Messung von Spannung, Stromstärke und Widerstand

4.3.1. Spannung

Bei der Messung von Spannungen wird das Meßinstrument, der Spannungsmesser, stets parallel zum Verbraucher geschaltet. Man überschlägt den etwa zu erwartenden Wert und beginnt mit dem höchsten Meßbereich. Das ist zur Schonung des Meßinstruments erforderlich. Damit vollzieht sich der Meßvorgang in der Reihenfolge:

- Zu erwartenden Meßwert überschlagen;
- höchsten in Frage kommenden Bereich mit dem Bereichsschalter einstellen;
- Spannungsmesser parallel zum Verbraucher anschließen;
- mit dem Bereichsschalter nacheinander die nächst niedrigen Bereiche einschalten, bis der Zeigerausschlag im letzten Drittel der Skale liegt;
- Meßwert unter Berücksichtigung des für den Meßbereich erforderlichen Umrechnungsfaktors ermitteln;
- Meßfehler des Instruments berücksichtigen;
- ermittelten Wert notieren.

Bild 4.1 zeigt die Meßschaltung für Spannungsmessungen. Es ist zu erkennen, daß bei der Parallelschaltung des Meßinstruments zum Verbraucher ein Teilstrom durch das Meßinstrument fließt, und zwar nach Angabe auf dem Datenblatt 1 mA. Die Verfälschung des Ergebnisses beträgt ±5 %, das sind im 25-V-Bereich ±1,25 V, bei 13 V also ein Ergebnis zwischen 11,75 V und 14,25 V. Das ist bezogen auf den Bereichsendwert. Wendet man diese ±5 % auf den angezeigten Wert an, so liegt das Ergebnis zwischen 12,4 V und 13,7 V. Es ist also tatsächlich nur ein Prüfen. Für diese Belange reichen die Meßwerte

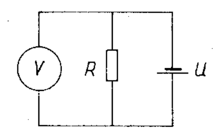


Bild 4.1
Meßschaltung für Spannungsmessungen

aus. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß es sich hier um Messungen im Gleichstromkreis handelt.

Beispiel

In einem einfachen Stromkreis, der aus bekannten Bauelementen nach Bild 4.1 aufzubauen ist, soll der Spannungsabfall über dem Verbraucher gemessen werden.

Beispiel

Auf dem Experimentierbrett ist eine Reihenschaltung mit einer Glühlampe 3,8 V/0,07 A und einer Glühlampe 4 V/0,6 A aufzubauen. U_{Batt} = 4,5 V. Über beiden Verbrauchern söll der Spannungsabfall gemessen werden. Was ist zu erwarten?

4.3.2. Stromstärke

Die grundsätzlichen Ausführungen für Spannungsmessungen gelten auch für Strommessungen.
Die Meßschaltung für Strommessungen zeigt Bild 4.2. Bei Strommessungen ist das Meßinstrument immer in den Stromkreis einzubeziehen. Die Leitungen sind am Meßpunkt aufzutrennen. In diese Unterbrechung wird der Strommesser eingefügt und mit »+« an »+« und »−« an »−« angeschlossen. Die Beachtung der Polarität ist auch bei Spannungsmessungen erforderlich. Auch in Bild 4.2 ist leicht zu erkennen, daß der gesamte Strom durch den Verbraucher und das Meßinstrument fließt.

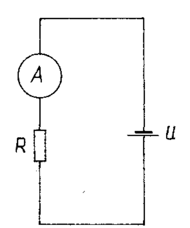


Bild 4.2
Meßschaltung für Strommessungen

Dadurch ruft das Meßinstrument einen zusätzlichen Spannungsabfall hervor und belastet den Stromkreis. Es entsteht wieder eine Verfälschung des Meßergebnisses.

Beispiel
Die Reihenschaltung des letzten Beispiels ist in eine Parallelschaltung umzubauen. Der Gesamtstrom und die Teilströme sind zu berechnen und zu messen.

Ausgangswerte: $U_{Batt} = 4{,}5\,V$
1. Glühlampe: 3,8 V/0,07 A ≙ $R1$
2. Glühlampe: 4 V/0,6 A ≙ $R2$
Ergebnisse durch Rechnung: $R1 = 54{,}28\,\Omega$
$R2 = 6{,}66\,\Omega$
$R_{1,2} = 5{,}93\,\Omega = R1R2$
$I_0 = 0{,}75\,A$
$I1 = 0{,}08\,A$
$I2 = 0{,}67\,A$

Man kontrolliert mit Hilfe der *Kirchhoffschen* Gesetze.
Die Meßergebnisse hängen vom Zustand der Batterie und vom Innenwiderstand des Meßinstruments ab. Hinzu kommen auch die Streuwerte bei den Widerständen der Glühlampen.

4.3.3. Widerstand

Widerstände werden entweder mit dem Ohmmeter gemessen oder durch elementare Messungen ermittelt. Ohmmeter sind in allen Vielfachmessern vorhanden. Der Multiprüfer gestattet zwar nur Messungen bis zu 50 kΩ, hochwertige Vielfachmesser weisen dagegen 3 Widerstandsmeßbereiche auf. Um den Widerstand mit elementaren Messungen zu ermitteln, wird nach dem *Ohmschen* Gesetz verfahren und Stromstärke und Spannungsabfall über dem Widerstand gemessen (dann R nach dem *Ohmschen* Gesetz berechnet, Bild 4.3). Die in Bild 4.3 eingezeichneten beiden Meßinstrumente können selbstverständlich durch 2 Messungen mit einem Vielfachmesser ersetzt werden.

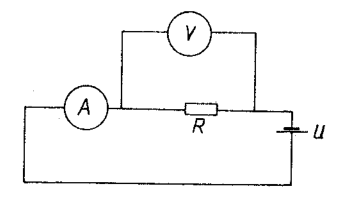


Bild 4.3
Widerstandsmessung nach dem *Ohmschen* Gesetz

Beispiel

An einem bekannten Widerstand ist durch elementare Messung der Widerstandswert zu ermitteln. Bei $U_{Batt} = 4{,}5$ V und $R = 100\,\Omega$ sind $I = 0{,}04$ A zu erwarten.

4.4. Prüfung von Dioden

Beim Prüfen von Dioden interessieren immer 2 Fragen:

- Ist die Diode funktionsfähig? Diese Frage wird mit Hilfe der Ermittlung der Durchlaßrichtung beantwortet.
- Wo liegen die Pole der Diode? Die Beantwortung dieser Frage läßt sich aus der ersten Antwort ableiten. Allgemein ist die Katode der Diode durch einen Farbring gekennzeichnet.

Beispiel

Auf dem Experimentierbrett EB 1 ist die Schaltung nach Bild 4.4 aufzubauen. Am Minuspol der Schaltung soll ein Strom von etwa 1,3 mA fließen. Der Widerstand R ist nach dem *Ohmschen* Gesetz zu berechnen. Zur Prüfung wird die Diode nacheinander in beiden Richtungen angeschlossen. Bei der Prüfung darf das Instrument nur in Durchlaßrichtung anzeigen. Damit ist auch die Funktionstüchtigkeit der Diode nachgewiesen. Außerdem sind die Anschlüsse der Diode bestimmt. Durchlaßrichtung ergibt sich nur, wenn die Anode der Diode am Pluspol und die Katode am Minuspol der Batterie liegt. In Bild 4.4 liegt aber die Katode am Pluspol der Batterie, also in Sperrichtung.

Zeigt das Instrument bei beiden Prüfungen in keiner Richtung Stromdurchgang an, so ist die Diode unbrauchbar. Im Innern der Diode sind die Zuleitungen unterbrochen oder abgeschmolzen. Zeigt das Instrument bei beiden Prüfungen in beiden Richtungen Stromdurchgang an, so ist die Diode ebenfalls unbrauchbar. Im Innern der Diode hat sich ein Kurzschluß gebildet.

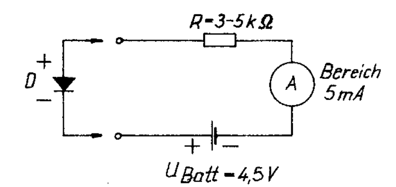


Bild 4.4
Diodenprüfung

4.5. Prüfung von Transistoren

Für den Einsatz von Transistoren gibt es Datenblätter mit allen erforderlichen Werten und Kennlinien. Es steht ein Transistordatenbuch [21] für Berechnungen zur Verfügung. Um einfache Schaltungen aufzubauen, genügt es zu wissen, daß die Transistoren funktionieren. Der verwendete Typ ist immer in der Schaltung angegeben. Im Vordergrund der Betrachtungen stehen daher die für den Anfang geeigneten billigen Bastlertransistoren. Eigene Berechnungen von Widerständen oder notwendigen Spannungsteilern sind zunächst nicht erforderlich. Für den praktischen Aufbau von Schaltungen muß sicher sein, daß der Transistor formal in Ordnung ist.
Dazu genügen folgende Angaben, die vor dem Einbau geprüft werden müssen:

- Alle Anschlüsse des Transistors sind eindeutig bekannt. Ist das nicht der Fall und der Transistor wird auf Grund von Vermutungen in die Schaltung eingelötet, bleibt seine Zerstörung nicht aus, und die Schaltung funktioniert nicht.
- Der Stromverstärkungsfaktor β soll annähernd bekannt sein. Seine Größe entscheidet neben dem Transistortyp über dessen Einsatz.

Beim Prüfen von Transistoren ist zu beachten, daß zwischen pnp- und npn-Transistoren unterschieden werden muß. Bei pnp-Transistoren liegt am Emitter der Pluspol der Batterie. Bei npn-Transistoren liegt am Emitter der Minuspol der Batterie. Hat man also

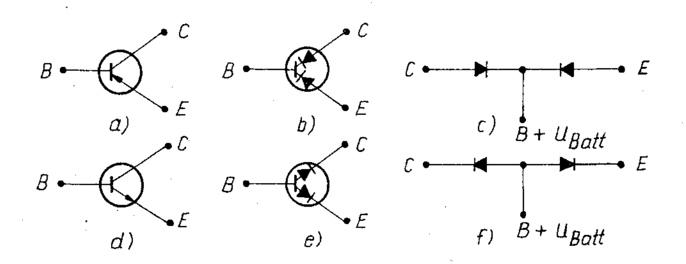
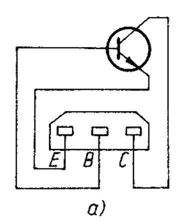


Bild 4.5 Gleichrichterstrecken eines Transistors;
a – Symbol eines pnp-Transistors, b – Gleichrichterstrecken im pnp-Transistor, c – Darstellung der Gleichrichterstrecken eines pnp-Transistors für den Prüfvorgang, d – Symbol eines npn-Transistors, e – 2 Gleichrichterstrecken eines npn-Transistors, f – Darstellung der Gleichrichterstrecken eines npn-Transistors für den Prüfvorgang



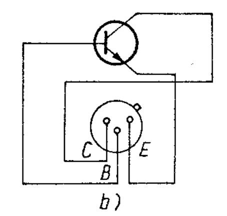


Bild 4.6 Zur Identifizierung der Transistoranschlüsse;
a – Transistor aus dem Bastlerbeutel 6, b – Transistor aus dem Halbleiter-Bastlerbeutel 7

eine Bauanleitung eines Transistorprüfgeräts für pnp-Transistoren vor sich, kann man durch Einbau eines Umschalters erreichen, daß Batterie und Meßinstrument (!), es fließt Gleichstrom, umgepolt werden.
Beim Prüfen wird die Eigenschaft der Transistoren ausgenutzt, daß zwischen den Elektroden Gleichrichterstrecken wirksam sind. Eine Gleichrichterstrecke wird zwischen Kollektor und Basis, die andere Gleichrichterstrecke zwischen Emitter und Basis gebildet (Bild 4.5).
Die Anschlüsse eines Transistors müssen so identifiziert werden, daß man von der Unterseite des Transistors auf die Anschlüsse sieht, also die Seite, aus der die Anschlußdrähte herausragen (Bild 4.6).

4.5.1. Bestimmung der Transistoranschlüsse

Liegt ein Transistor ohne Typenbezeichnung vor, ist es notwendig, die Anschlüsse zu bestimmen.

Beispiel
Die Anschlüsse eines Transistors sind zu bestimmen.
Damit man eine Vergleichsmöglichkeit hat, führt man dieses Experiment mit einem bekannten Transistor durch.
Auf dem Experimentierbrett EB 1 wird die Schaltung nach Bild 4.4 aufgebaut. Damit werden alle Anschlüsse gegeneinander geprüft und die Ergebnisse festgehalten. Nach Bild 4.5 muß es 2 Anschlüsse geben, bei denen in keiner Richtung Durchgang festgestellt werden kann. Einen geringen Zeigerausschlag verursacht eventuell der Kollektorstrom. Ist diese Strecke gefunden, so hat man Kollektor

und Emitter identifiziert, allerdings im Moment noch ohne zu wissen, welcher von beiden Anschlüssen der Emitter und welcher der Kollektor ist. Damit weiß man aber, daß der übriggebliebene Anschluß die Basis ist.

Ob es sich um einen pnp- oder npn-Transistor handelt, kann festgestellt werden, wenn an die Basis der Pluspol der Batterie gelegt wird.

Bild 4.5c: $+U_{Batt}$ an B, Strecke BC ist gesperrt, Strecke BE ist gesperrt: npn-Transistor.

Bild 4.5f: $+U_{Batt}$ an B, Strecke BC hat Durchgang, Strecke BE hat Durchgang: npn-Transistor.

Zur Bestimmung von Emitter und Kollektor wird die Verstärkereigenschaft des Transistors ausgenutzt. Dazu verändert man die Schaltung auf EB 1 gemäß Bild 4.7a. Punkt B und C müssen gut zugänglich sein. Sie werden mit einem Widerstand überbrückt. Der Widerstand ist so zu wählen, daß im Punkt B bei $U_{Batt} \approx 4{,}5$ V ein Strom von etwa 15 µA fließt, $R \approx 300$ kΩ. Wird R an B und C angeschlossen und der Zeigerausschlag am Meßinstrument ist groß, dann hat man den Kollektor bei C gefunden. Da Kollektor und Emitter beim Herstellen der Anschlüsse für den Transistor noch nicht bekannt sind, kann auch der Kollektor an $+U_{Batt}$ gelangt sein. In diesem Fall ist ein kleinerer Zeigerausschlag am Meßinstrument vorhanden. Man muß immer beide Richtungen prüfen.

Hat ein Transistor 4 Anschlüsse, so ist einer zur Abschirmung mit dem Metallgehäuse verbunden. Den mit dem Gehäuse verbundenen Anschluß sucht man zuerst. Hat ein Transistor 2 Anschlüsse, dann ist der dritte Anschluß das Gehäuse (meist bei Leistungstransistoren). Das Gehäuse bildet oft auch den Kollektor. Da auch das nicht immer zutrifft, sind alle 3 Anschlüsse wie beschrieben zu prüfen. Bei allen Transistoren mit Metallgehäuse kann ein Anschlußdraht, auch

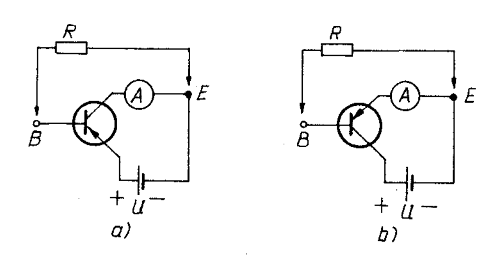


Bild 4.7 Zur Bestimmung von Emitter und Kollektor; a – Emitter an $+U_{Batt}$, b – Kollektor an $+U_{Batt}$

wenn nur 3 vorhanden sind, mit dem Gehäuse verbunden sein. Das ist insofern von Bedeutung, daß die Gehäuse dieser Transistoren bei gedrängtem Schaltungsaufbau nicht mit anderen Bauteilen in Berührung kommen, denn am Gehäuse liegt ja in diesem Fall einer der Transistorpole. Bei Transistoren mit Metallgehäuse sind also zusätzlich alle Transistoranschlüsse in beiden Richtungen gegen das Gehäuse zu prüfen.

4.5.2. Bestimmung des Stromverstärkungsfaktors

Der Stromverstärkungsfaktor entscheidet neben dem Typ des Transistors über seinen Einsatz. Er ist somit eine der wichtigsten Kenngrößen. Auch die Kenntnis seines angenäherten Werts erleichtert die Auswahl und die Entscheidung über die Verwendung. Der Stromverstärkungsfaktor β ergibt sich aus

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}. \tag{4.1}$$

I_C ist die Differenz aus dem Kollektorstrom I_C und dem Kollektorreststrom I_{CEO} bei einem bestimmten Basisstrom I_B. Da dieser Basisstrom vorgegeben wird, nimmt Gleichung (4.1) die Form

$$\beta = \frac{I_C - I_{CEO}}{I_B} \tag{4.2}$$

an.

Für die Bestimmung von β ergeben sich daraus 2 Messungen:

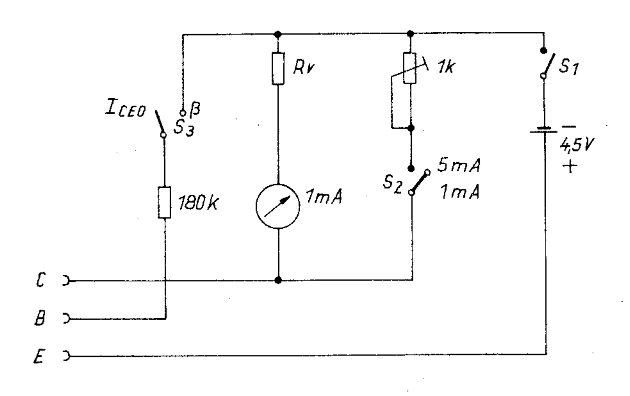
a – Den Kollektorstrom I_C muß man bei offener Basis messen.

b – Der Kollektorstrom I_{CEO} muß bei einem Basisstrom I_B von 25 µA gemessen werden.

Dazu eignet sich in Anlehnung an [15] Bild 4.8.

Beispiel

Die Schaltung nach Bild 4.8a ist auf dem Experimentierbrett EB 1 aufzubauen. Der Multiprüfer V reicht nicht mehr aus, da er nur einen Strommeßbereich mit 5 mA hat, hier aber für eine Messung ein Instrument mit 1 mA Vollausschlag verlangt wird. Die Schaltung läßt sich natürlich so abändern, daß man beide Messungen nacheinander mit dem 5-mA-Bereich durchführen kann. Da aber der Kollektorreststrom I_{CEO} kaum größer als 1 mA sein wird, ist der Wert beim Multiprüfer V nicht mehr ablesbar und kann für die Berechnung nicht verwendet werden. Es zeigen sich die bereits angedeuteten



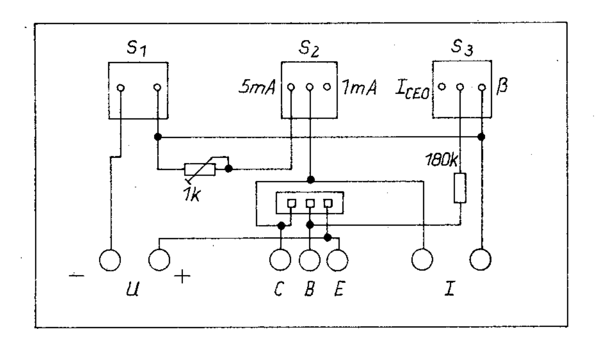


Bild 4.8 Transistorprüfer;
a – Stromlaufplan, b – Bauschaltplan

Grenzen eines Multiprüfers. Beim Aufbau der Schaltung sind die einzelnen Stromkreise zu beachten. Gedanklich schließe man zuerst den Schalter S1 und verfolge den Stromweg von $+U_{Batt}$, E, C, I (R im Instrument), S1 bis $-U_{Batt}$. Anschließend vergleicht man den Stromweg, wenn zusätzlich S2 und S3 geschlossen werden. So verläuft auch der Meßvorgang in diesem Beispiel. Damit wird gleichzeitig die Bedienung dieses kleinen Geräts erläutert.
Messung des Kollektorreststroms I_{CEO}: Schalter 1 schließen; Schalter S2 und S3 bleiben offen. I ablesen ($I_{CEO} = 0{,}5$ mA). Messung des Kollektorstroms I_C: Schalter S1 bleibt geschlossen; Schalter S2 und S3 schließen; I ablesen ($I_C = 3$ mA). β berechnen: Nach Gleichung (4.2) ergibt sich bei Einsetzen der Meßwerte

$$\beta = \frac{3\,\text{mA} - 0{,}5\,\text{mA}}{0{,}025\,\text{mA}},$$

$$\beta = 100.$$

Die Stromverstärkung des im Beispiel angenommenen Transistors beträgt 100. Mit einem solchen Transistor lassen sich schon verschiedene Schaltungen realisieren. Die Werte der eigenen Versuche können von diesem Beispiel erheblich abweichen. Grundsätzlich ist aber wie beschrieben zu verfahren.
Die Einfachheit der Schaltung rechtfertigt den Aufbau zu einem kleinen Prüfgerät. Vielleicht ist es möglich, günstig ein Meßinstrument mit nur einem Meßbereich, nämlich 1 mA, zu erwerben, das in die Frontplatte eingebaut werden kann.
Bild 4.8b zeigt den Verdrahtungsplan auf der Rückseite der Frontplatte. Bei den wenigen Bauelementen lohnt es nicht, eine Leiterplatte anzufertigen. Für das Meßinstrument sind Buchsen vorgesehen, ebenso für die Spannungsquelle. Die Batterien altern schnell, wenn das Gerät nicht ständig benutzt wird. Sie „laufen aus" und verschmutzen die Schaltung. Für die zu prüfenden Transistoren sind sowohl 3 Buchsen als auch eine 3polige Transistorfassung vorgesehen. Über die Telefonbuchsen können die Transistoren mit Hilfe von Verbindungsleitungen über Bananenstecker und Krokodilklemmen angeschlossen werden.
Für größere Ansprüche sind in [21] interessante Vorschläge und Anregungen enthalten.

4.6. Prüfen von Schaltkreisen

Leicht überschaubare Schaltungen lassen sich mit den integrierten Schaltungen (IS), auch Schaltkreise genannt, aus den Halbleiter-Bastlerbeuteln aufbauen. Dazu gehören auch die Bastlertypen, die einzeln erhältlich sind. Die Beschreibung der Prüfung von IS beschränkt sich daher auf die Typen, mit denen allgemein begonnen wird. Sie sind in Tabelle 4.1. zusammengefaßt.
Die in der Tabelle 4.1. aufgeführten IS sind digitale Schaltkreise. Sie haben die Eigenschaft, auf 2 Zustände anzusprechen. Diese beiden Zustände werden mit H (high – hoch), $U_{oH} \approx 3{,}8\,\text{V}$ und L (low – tief), $U_{oL} \approx 0{,}1\,\text{V}$, bezeichnet. Man realisiert sie mit einer Schaltung nach Bild 4.9a, die als NAND-Gatter bezeichnet wird. Das Symbol eines NAND-Gatters ist in Bild 4.9b dargestellt.

Tabelle 4.1. IS, die sich für elektronische Grundschaltungen eignen

Baureihe und Typ	Anzahl und Art der Gatter	Eingänge je Gatter
D100C	*D200C*	4 NAND 2
D110C	*D210C*	3 NAND 3
D120C	*D220C*	2 NAND 4
D130C	*D230C*	1 NAND 8
D140C	–	2 NAND Leistungsgatter

Wird an eine IS eine Speisespannung U_S angeschlossen, dann nimmt sie einen Ruhestrom auf. Damit ist die 1. Prüfung umrissen. Die 2. Prüfung bezieht sich auf die Funktion der einzelnen Gatter. Wird an den Eingang eines Gatters H gelegt, so muß am Ausgang L erscheinen und umgekehrt.

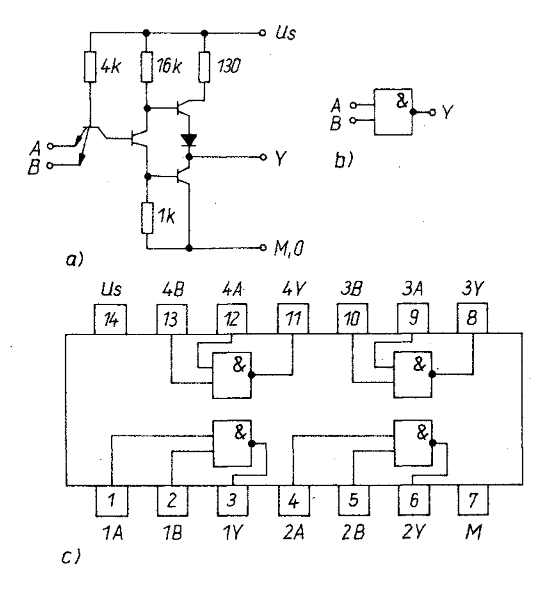


Bild 4.9
Integrierte Schaltung;
a – Schaltung eines Gatters, b – Symbol für ein NAND-Gatter, c – *D100*

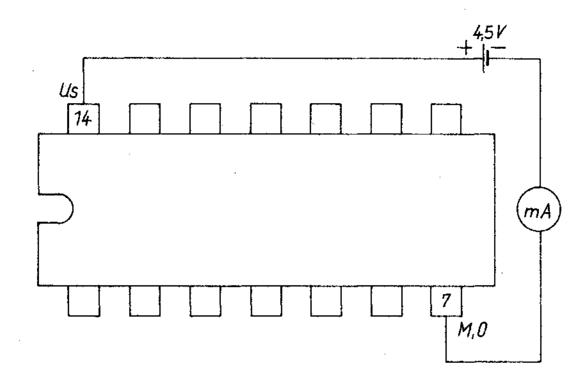


Bild 4.10
Prüfung des Ruhestroms

Um diese Prüfung durchführen zu können, ist es zweckmäßig, auf eine Leiterplatte (Bild 2.16e) eine Schaltkreisfassung zu löten, Verbindungsleitungen anzulöten und dann auf EB 1 festzuklemmen. Besteht diese Möglichkeit nicht, so muß wahrscheinlich mit einer fliegenden Schaltung gearbeitet werden. Dabei sind Kurzschlüsse zu vermeiden. Sie führen zur Zerstörung des Schaltkreises.

Beispiel

Eine IS *D100* ist auf ihre Funktionstüchtigkeit zu prüfen!

a – Fließt ein Ruhestrom? Die Anschlüsse der IS werden grundsätzlich in Draufsicht, also von oben, gesehen. Die Kennung (Einbuchtung, Ausschnitt im oberen Teil des Gehäuses) muß dabei links liegen. Die Prüfschaltung zeigt Bild 4.10. Der zu erwartende Ruhestrom ist zwischen 5 mA und 15 mA bei $U_S = 4{,}5\,V$.

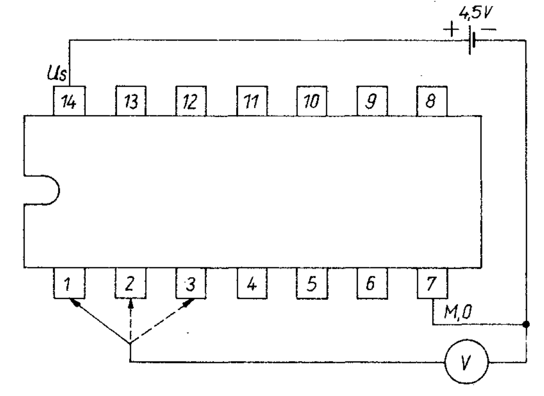


Bild 4.11
Prüfung im unbelasteten Zustand

b – Reagiert die IS in unbeschaltetem Zustand? Es ist die Speisespannung wie bei der 1. Prüfung anzuschließen. Mit einem Spannungsmesser wird an jedem Anschluß, der mit einem Eingang oder Ausgang belegt ist, die Spannung gemessen (Bild 4.11). Ergebnis: An den Eingängen A, B bis E mißt man etwa 1,5 V, an den Ausgängen Y etwa 0,1 V.

c – Reagiert jedes Gatter? Geschaltet wird nach Bild 4.12. Den Spannungsmesser legt man an den Ausgang Y des 1. Gatters. 0 V wird nacheinander an die Eingänge A und B des 1. Gatters gelegt. Ergebnis: Am Ausgang Y ist beim Abtasten jedes Eingangs eine Spannung von > 2,4 V zu erwarten. Diese Prüfung ist mit jedem Gatter durchzuführen.

Alle Prüfungen müssen kurzzeitig durchgeführt werden.

Die Prüfung analoger integrierter Schaltungen ist auf diese Art und Weise nicht möglich. Dazu sind vorgegebene Meßschaltungen und Meßbedingungen Voraussetzung. In diesem Fall vertraue man der IS, seiner bis dahin selbst fehlerlos aufgebauten Schaltung, und baue den Schaltkreis als Krönung des Ganzen ein.

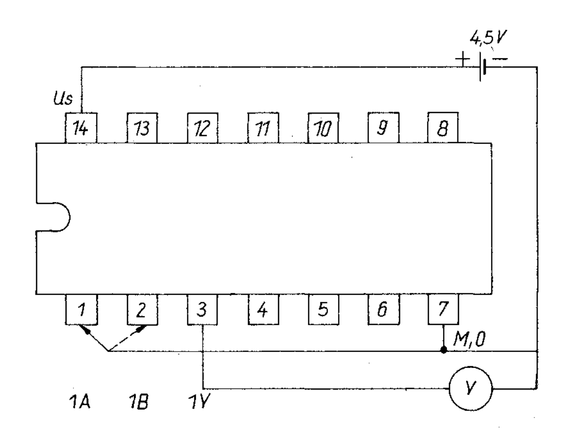


Bild 4.12
Prüfung eines Gatters

Literatur

[1] –: Empfehlungen für Arbeitsgemeinschaften der Klassen 5 bis 8
Klaffke, E., P. Freiberger, M. Gersch: Junge Funker,
Freiberger, P., E. Klaffke, H. Dülge: Junge Fuchsjäger,
Scholtze, J., H.-D. Zeumer: Elektrotechnik,
Buchwald, D., G. Frölich: Elektronik.
Herausgeber: Zentrales Methodisches Kabinett für außerunterrichtliche Tätigkeit beim Ministerium für Volksbildung der DDR, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1975

[2] Rahmenprogramm für Arbeitsgemeinschaften für die Klassen 9 und 10
– Elektronik
– Funktechnischer Gerätebau
Herausgeber: Ministerium für Volksbildung der DDR, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1973

[3] Bände der Reihe »Amateurbibliothek« des Militärverlages der DDR (VEB), Berlin

[4] *Sohn, W., K. Sommer, K. Martin:* Tabellen und Formeln, Mathematik, Physik, Chemie, 5. Auflage, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1977

[5] –: Kleine Enzyklopädie Mathematik. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1974

[6] –: Anordnung vom 26. November 1968 über die Tafel der gesetzlichen Einheiten, GBl. SDr. 605 und Berichtigung im GBl. II (Nr. 45) S. 291

[7] *Bender, D., E. Pippig:* Einheiten, Maßsysteme, SI. Wissenschaftliche Taschenbücher Band 97, Akademie-Verlag, Berlin 1977

[8] *Fischer, R., E. Padelt, H. Schindler:* Physikalisch-technische Einheiten richtig angewandt – SI. 1. Auflage, Verlag Technik VEB, Berlin 1975

[9] *Lechner, D.:* Kurzwellenempfänger; Militärverlag der DDR (VEB), Berlin 1976

[10] *Hille, H.:* Anleitungsbuch zum Elektrobaukasten; VEB *PIKO*-Sonneberg 1975, 6. Auflage

[11] *Schlenzig, K.:* pikotron-Anleitung; VEB *PIKO*-Sonneberg 1971

[12] *Klaffke, E.:* Pikotron – neue Bausteine, andere Schaltungen; Elektronisches Jahrbuch 1977, S. 143, Militärverlag der DDR (VEB), Berlin 1976
[13] *Klaffke, E.:* Funkbetrieb in Arbeitsgemeinschaften; »Der junge Funker«, Band 21, Militärverlag der DDR (VEB), Berlin 1978
[14] *Müller, R.:* Baukastensystem Polytronic – Versuchsanleitungen; VEB *Polytronik* Saalfeld 1977
[15] *Schubert, K. H.:* Das große Radiobastelbuch; Militärverlag der DDR (VEB), Berlin 1974, 4. Auflage
[16] *Schlenzig, K., R. Oettel:* Das große Bauplanbastelbuch; Militärverlag der DDR (VEB), Berlin 1976
[17] *Schlenzig, K.:* Amateurelektronik 75; Amateurreihe »electronica«, Band 137 und Band 138, Militärverlag der DDR (VEB), Berlin 1975
[18] *Pfeiffer, H., W. Heink:* Schaltungen mit Transistoren. Wissenschaftliche Taschenbücher, Band 147, S. 28, Akademie-Verlag, Berlin 1976
[19] Autorenkollektiv: Physik in Übersichten. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1972
[20] *Jakubaschk, H.:* Messen – aber wie; Der Vielfachmesser – Aufbau und Anwendung. »Der junge Funker«, Band 5, Militärverlag der DDR (VEB), Berlin 1977, 4. Auflage
[21] *Streng, Klaus K.:* Transistordaten; Militärverlag der DDR (VEB), Berlin 1975
[22] *Jakubaschk, H.:* Prüf- und Meßschaltung für Halbleiter; Amateurreihe »electronica«, Band 160, Militärverlag der DDR (VEB), Berlin 1978

